

O Experimento como uma Rede Estabilizada: associações, negociações e algumas implicações na Educação em Ciências⁺

Thiago Vasconcelos Ribeiro¹

Colégio Estadual Colemar Natal e Silva

Claudio Morais Silvano¹

Universidade Federal de Goiás

Aliny Tinoco Santos¹

Colégio Estadual João Barbosa Reis

Luiz Gonzaga Roversi Genovese¹

Universidade Federal de Goiás

Goiânia – GO

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo problematizar um tema tradicional na pesquisa em Educação em Ciências: as atividades experimentais. Coloca-se em questão a recorrente utilização de epistemologias racionalistas, que privilegiam uma relação hierarquizada entre a teoria e o experimento e esquecem-se de que a experimentação é uma atividade relacionada a intervenção e manipulação de realidades específicas e artificialmente construídas. Defende-se aqui uma abordagem que enfoque as controvérsias emergentes no trato com o concreto e as diferentes negociações impostas pelo processo de criação e estabilização de fenômenos experimentais. Utilizando-se os conceitos da Teoria Ator-Rede, essa posição é discutida a partir da análise qualitativa de um estudo de caso: a construção de um aparato experimental didático por um licenciando em Física, com a finalidade de compor o seu Trabalho de Conclusão de Curso. Os dados analisados foram obtidos a partir de registros escritos realizados pelo próprio licenciando, fotografias da construção do aparato experimental e por uma entrevista estruturada realizada com ele ao final de todo o processo. A análise destacou as

⁺ Experiment as a Stabilized Network: associations, negotiations and some implications for science education

^{*} Recebido: junho de 2019.

Aceito: agosto de 2020.

¹ E-mails: thiago.v.ribeiro@live.com; claudiomssi@hotmail.com; alinytinoco@gmail.com; lgenovese@ufg.br

situações controversas provocadas pelo processo de construção do aparato experimental e as negociações realizadas, evidenciando que este processo também consiste na criação e estabilização de fenômenos e de atores, cujas identidades são sempre (re)definidas contingencialmente. Desse modo, é evidenciado que, tanto na ciência quanto no ensino de ciências, criar e manter um fenômeno estável é torná-lo mais social e coletivo ainda. Por fim, são discutidas algumas implicações importantes para a Educação em Ciências.

Palavras-chave: *Teoria Ator-Rede; Experimentação; Controvérsias; Educação em Ciências.*

Abstract

This article aims to discuss a traditional theme in science education research: experimental activities. The recurring use of rationalist epistemologies is questioned, which privilege a hierarchical relationship between theory and experiment and forget that experimentation is an activity related to the intervention and manipulation of specific and artificially constructed realities. An approach is advocated here that focuses on the emerging controversies in dealing with the concrete and the different negotiations imposed by the process of creating and stabilizing experimental phenomena. Using the concepts of the Actor-Network Theory, this position is discussed based on the qualitative analysis of a case study: the construction of an experimental didactic apparatus by a Physics graduate, with the purpose of composing his Conclusion Work of Course. The analyzed data were obtained from written records made by the licensee himself, photographs of the construction of the experimental apparatus and by a structured interview conducted with him at the end of the entire process. The analysis highlighted the controversial situations caused by the construction process that the experimental apparatus and the negotiations carried out, showing that this process also consists of the creation and stabilization of phenomena and actors, whose identities are always (re) defined contingently. Thus, it is evident that, both in science and in science teaching, creating and maintaining a stable phenomenon is making it even more social and collective. Finally, some important implications for science education are discussed.

Keywords: *Theory Actor-Network; Experimentation; Controversies; Science Education.*

I. Introdução

Em uma tradição que remonta as origens da pesquisa em Educação em Ciências – associada aos numerosos investimentos em projetos de renovação curricular estrangeiros (PSSC², CBA, BSCS, Projeto Harvard, Projeto Nuffield, etc.) e nacionais (Projeto Piloto, PEF³, etc.), característico das décadas de 1960-70 –, o emprego de atividades experimentais em situações de ensino e aprendizagem há muito possui um papel de destaque entre as pesquisas desenvolvidas na área (CRUZ; ZYLBERSZTAJN, 2001). Embora ainda não haja um consenso claro sobre os significados e as diferenças entre termos recorrentes nessas pesquisas, como experimentação, atividade experimental, demonstração, trabalho prático, trabalho de laboratório, etc., e tão pouco sobre os seus reais impactos no processo de ensino e aprendizagem (HOFSTEIN; LUNETTA, 1982; HODSON, 1988; ALVES-FILHO, 2000), é inegável que os usos e significados dados a esta prática tenham sofrido mudanças de concepção e entendimento ao longo dos anos. Do ensino por descoberta à abordagem construtivista, o emprego de atividades experimentais muitas vezes esteve em consonância com as principais contribuições tanto da filosofia da ciência quanto da psicologia (POZO; CRESPO, 2009).

Por outro lado, apesar de toda uma tradição construída na filosofia da ciência e, mais recentemente, na sociologia da ciência, de sistematização e crítica do conhecimento científico e dos processos de consolidação desse conhecimento, foi apenas a partir da década de 1980 que a experimentação e o trabalho de laboratório – centrais na atividade científica – tornaram-se, de fato, objetos de uma análise mais próxima e atenta (LATOUR; WOOLGAR, 1997; KNORR-CETINA, 2005). Filósofos e sociólogos adentraram nas “fábricas” da ciência e detalharam práticas científicas distintas, complexas, cheias de suspense e contornos dramáticos, e descreveram o conhecimento científico em construção: vivo, disputado, controverso e negociado. A ciência apresentada por esses estudos distanciava-se nitidamente daquela descrição esboçada pelas abordagens tradicionais da “Filosofia da Ciência” (ECHEVERRÍA, 1995) e da Perspectiva Diferencionista da Sociologia da Ciência (SHINN; RAGOUE, 2008), nas quais, sob muitas formas, a prática experimental

² Os projetos de renovação curriculares das décadas de 1960-70 eram conhecidos pelas siglas dos comitês responsáveis pela sua elaboração. Logo, a sigla PSSC refere-se ao projeto curricular elaborado pelo Physical Science Study Committee, CBA faz referência ao Chemical Bond Approach e BSCS ao Biological Science Curriculum Study.

³ Projeto de Ensino de Física.

subordinava-se ao desenvolvimento teórico e racionalizado, em uma relação hierarquizada com a teoria e com a filosofia da ciência “teórica” (MENDONÇA 2012).

Ainda que o cenário apresentado sobre as pesquisas em Educação em Ciências aparente ser favorável para o desenvolvimento de trabalhos experimentais didáticos mais próximos das recentes contribuições da filosofia e sociologia da ciência, tais pesquisas ainda se orientam excessivamente por epistemologias racionalistas que carregam em si uma relação hierarquizada entre a teoria e a experimentação (PRAIA; CACHAPUZ; GIL-PÉREZ, 2002a; 2002b; PEREIRA; DOS SANTOS JUNIOR, 2011; HAMMES; SCHUHMACHER, 2011; LEAL; SCHETINGER; PEDROSO, 2019). Nessa perspectiva, a experimentação é compreendida como um empreendimento científico destinado à verificação de fenômenos naturais, ao simples teste (confirmação ou refutação) de hipóteses e a comprovação de teorias científicas (ROSITO, 2008; GIORDAN, 1999). Abordagens didáticas que privilegiam as epistemologias de K. Popper, T. Kuhn, I. Lakatos, S. Toulmin, dentre outras, frequentemente negligenciam as controvérsias emergentes no trato com o concreto, banalizam o erro experimental e simplificam o processo de criação e de construção de fenômenos experimentais.

É nesta perspectiva de superação da hierarquia existente entre teoria e experimento nas pesquisas em Educação em Ciências que o presente trabalho se insere, buscando sinalizar algumas contribuições possíveis que esse entendimento sobre a natureza da experimentação é capaz de realizar para o ensino de ciências. Denomina-se aqui a presente abordagem de atividades experimentais, que buscam uma maior integração entre teoria e experimento, superando qualquer hierarquia atribuída *a priori*, de ***Abordagem Híbrida da Educação de Ciências***. Com efeito, procura-se avançar nessa discussão aproximando-se da noção de experimentação proposta por Ian Hacking, para o qual:

Experimental é criar, produzir, refinar e estabilizar fenômenos. Se estes fossem abundantes na natureza, como amoras prontas para serem colhidas no verão, o não funcionamento dos experimentos seria estranhíssimo. Mas os fenômenos são difíceis de serem produzidos de qualquer forma estável. Por isso eu falei a respeito de criar fenômenos, e não meramente de descobri-los. Trata-se de uma tarefa longa e árdua.
(HACKING, 2012, p. 330).

É, sobretudo, a exploração desses aspectos problemáticos, criativos e contingentes que se deseja realizar. Isto é, destacar, a partir de atividades experimentais, que a construção do conhecimento experimental não é apenas um processo linear de testagem de hipóteses e de teorias – em que as controvérsias estariam restritas ao universo das ideias –; trata-se de um processo inventivo complexo, em que a própria materialidade dos equipamentos e objetos é negociada, impondo opções e escolhas, e no qual o aprendizado pode ser muito mais rico do que nas abordagens tradicionalmente realizadas no Ensino de Física, por exemplo, que são aqui denominadas (por oposição) de ***Abordagem Assimétrica da Educação de Ciências***.

Logo, a fundamentação epistemológica que direciona a construção e a análise das atividades experimentais realizadas na Educação em Ciências precisa ser atualizada para levar em consideração as recentes contribuições da filosofia e da sociologia da ciência, sobretudo quanto ao entendimento do que consiste ser uma prática experimental na ciência e quais são os elementos postos em disputa no processo de estabilização de um determinado fenômeno. Parte dessa atualização vem sendo realizada por alguns pesquisadores da área (REZZADORI; DE OLIVEIRA, 2011; TANG, 2019), mas entende-se que é necessário ampliá-la ainda mais. Tendo em vista que os principais objetivos do ensino de ciências sejam *aprender ciência, aprender sobre ciências e fazer ciência* (HODSON, 1988; BARBERÀ; VALDÉS, 1996), o presente trabalho buscou evidenciar as aproximações ocorridas entre o processo de planejamento e construção de um aparato experimental voltado para o ensino de ciências e a prática dos cientistas de criação e estabilização de fenômenos – um exercício de simetria –, a fim de encontrar uma possível e frutífera via de análise das atividades experimentais na pesquisa em Educação em Ciências. Essa via de análise consiste em promover a aproximação a partir da ação de recriar fenômenos científicos, aqueles já conquistados na ciência, estabilizar e caracterizar as redes de atores necessárias para a sua existência. Conforme será mostrado adiante, o fato de o fenômeno ter sido conquistado anteriormente pela ciência, não o torna prontamente acessível a um estudante durante a construção de uma atividade experimental – sua recriação precisa ser (re)conquistada, (re)negociada e (re)estabilizada. Guardadas as devidas proporções entre os dois contextos, cabe destacar que nem todo experimento na ciência visa a testar uma hipótese ou mesmo construir algum conhecimento inédito – veja os experimentos destinados a refinar medidas de constantes científicas por exemplo (HACKING, 2012) – da mesma forma que a realização de atividades experimentais no contexto da sala de aula jamais é presenciada por pessoas (os alunos) que compartilham uma instituição em que se disputa a interpretação ou a manipulação de fenômenos. Entretanto, esse exercício de simetria pode contribuir na compreensão desses dois ambientes em que se constroem conhecimentos, evidenciando que o momento em que se constroem experimentos é o momento em que ocorrem aprendizagens, e alguns de seus elementos podem – e devem – transitar entre esses dois ambientes.

Utilizando como fundamentação teórica os elementos presentes na Teoria Ator-Rede, buscou-se destacar que a construção de um aparato experimental destinado para o ensino de ciências também ***consiste na criação, refinamento e estabilização não só de fenômenos, mas principalmente de atores (humanos e não-humanos), cujas identidades são sempre redefinidas contingencialmente.*** Como será discutido a seguir, na construção de um aparato experimental relativamente complexo, diversos atores heterogêneos são reunidos e mobilizados, suas identidades são negociadas e manipuladas, seus comportamentos são modificados ao mesmo tempo em que impõem exigências que modificam outros atores. A estabilidade e, conseqüentemente, a previsibilidade conquistada por meio dessas disputas e negociações é o que tornará o fenômeno real e convincente. São manipuladas e construídas realidades artificiais específicas, ao se desempenhar um papel ativo de intervenção, muito

distante daquela “*teoria do espectador*” (DEWEY, 1974) que permeia grande parte das epistemologias que fundamentam as pesquisas em Educação em Ciências. Dessa forma, os objetivos aqui são: delinear algumas características relevantes no trato com mundos híbridos (humano e não-humano) para uma epistemologia da prática experimental orientada ao ensino de ciências, em uma oposição crítica à separação analítica entre contexto e conteúdo que permeiam as epistemologias racionalistas que fundamentam trabalhos em Educação em Ciências; evidenciar potenciais de aprendizagem provenientes dessa abordagem; e propor algumas contribuições importantes para o trabalho experimental na Educação em Ciências. Para tanto, essa discussão será apresentada a partir da análise do processo de construção de um aparato experimental exemplar à história (THUILLIER, 1994), filosofia (KOYRÉ, 1992) e ensino de Física (GENOVESE; CUNHA, 2016), a saber, o plano inclinado de Galileu, realizado por um licenciando do curso de Física de uma universidade pública, durante a elaboração de seu Trabalho de Conclusão de Curso. Os dados provenientes desta prática em particular se tornaram interessantes para a análise e discussão devido ao engajamento deste ator em refinar constantemente o seu experimento, o que acabou levando-o a se envolver em diversas controvérsias na tentativa de estabilizar o fenômeno estudado.

II. Fundamentação teórica

A Teoria Ator-Rede teve origem na Sociologia da Ciência durante a década de 1980 e se tornou conhecida por descrever a prática científica de uma forma distinta daquela realizada pela sociologia tradicional. Para tanto, a teoria opera uma profunda redefinição no conceito fundamental da sociologia, que reverberará por todas as suas escolhas metodológicas e epistemológicas: a própria noção de sociedade. Aqui, o termo “sociedade” é utilizado para descrever um conjunto de associações ou encadeamentos de atores heterogêneos e que, justamente pelos elos que os mantêm relativamente – e temporariamente – unidos, constituem juntos uma rede.

A palavra “ator”, diferente de outros conceitos aparentemente similares na sociologia, tais como “agente” ou “indivíduo”, não se restringe a descrição de pessoas em si (seres humanos), ou à fonte de um ato. Ela caracteriza-se mais por uma definição performativa, relacional, do que a uma definição substantiva, que faça referência a alguma essência imutável presente a priori em qualquer elemento analisado (LATOURETTE, 2012). Essa postura modifica profundamente a análise do social, uma vez que os atores são identificados exclusivamente devido às relações que estabelecem em uma rede, às exigências que impõem a outros atores e às negociações que são forçados a fazer. Desse modo, a palavra ator, de acordo com o *princípio de simetria generalizado*, é atribuída a humanos bem como a não-humanos (objetos), desde que estes façam determinadas exigências e/ou imponham negociações à rede. Portanto, a materialidade de uma rede, associada a elos com atores tanto naturais quanto

artificiais, desempenha um papel fundamental na (re)definição de seu sucesso ou de seu fracasso.

Nesse sentido, pode-se definir que:

A noção de rede, especificando-a agora um pouco, designa uma série de associações revelada por meio de uma prova – a das surpresas da pesquisa etnográfica – que permite compreender por quais séries de pequenas descontinuidades convém passar para obter certa continuidade de ação (LATOUR, 2019, p. 39, grifos no original).

Logo, as descontinuidades fazem referência a um conceito que se torna central nas análises da Teoria Ator-Rede. Uma vez que não há um ponto de análise privilegiado para o estudo do social⁴, seja ele humano ou não-humano, torna-se necessário encontrar outra porta de entrada para a investigação. E aqui, o conceito de **controvérsia** ganha destaque na exata medida em que possibilita a identificação de atores que participam direta ou indiretamente na formação e na extinção de grupos. As controvérsias convergem conflitos de interesse entre atores e redes, e geralmente resultam na interrupção de determinados **cursos de ação**. Uma vez interrompidos os cursos de ação, os atores envolvidos são levados à negociação e à mobilização de novos atores (e novas redes), ou à reorganização de atores (e redes) já mobilizados. Com efeito, todo o processo de negociação e ajustamento de interesses (tão heterogêneos quanto os atores envolvidos), resulta num movimento de reestruturação das redes existentes e de construção de novas associações – a dinâmica da formação de grupos – e impulsionam os atores a realizarem determinados desvios e traduções (LATOUR, 2016).

Atores podem realizar **desvios** quando há algo que se encontra entre eles e seus objetivos, isto é, quando ocorre uma interrupção em seu curso de ação. Essas interrupções (as controvérsias) exigem que os atores negociem novas associações e tracem novos caminhos, o que resulta num determinado desvio em relação à rota original. Desvios sucessivos, resultantes do enfrentamento de várias controvérsias, tendem a provocar uma **defasagem** entre os objetivos inicialmente planejados e os resultados efetivamente construídos e alcançados. As relações estabilizadas (a rede obtida), após inúmeras negociações, mediações e desvios, formam uma **composição** e a defasagem resultante dessa composição fornece uma medida da tradução realizada. Aqui, a palavra “**tradução**” é tomada literalmente: as ações realizadas e as redes construídas – mediante as várias conexões estabelecidas e permanentemente renovadas entre os mais variados atores – têm como finalidade realizar uma tradução de interesses, tão

⁴ “A primeira fonte de incerteza com a qual devemos aprender é que não há grupo relevante ao qual possa ser atribuído o poder de compor agregados sociais, e não há componente estabelecido a ser utilizado como ponto de partida incontestado. Muita pesquisa sociológica começou determinando um ou mais tipos de agrupamentos, se desculpando profundamente antes por essa limitação um tanto arbitrária – imposta, como muitas vezes se argumenta, pela ‘necessidade de restringir o alcance da investigação’ ou pelo ‘direito que tem o cientista de definir seu objeto’. Mas esse não é de forma alguma o tipo de determinação, o tipo de obrigação, o tipo de defesa com que os sociólogos de associações desejam começar” (LATOUR, 2012, p. 51-52).

heterogêneos quanto os atores que os carregam, estabelecendo “*uma relação que não transporta causalidade, mas induz dois mediadores à coexistência*” (LATOURE, 2012, p. 160). Realizar uma tradução, portanto, além de ser extremamente trabalhoso exige certas habilidades de negociação com diversos tipos de interesse, expondo os atores em conflito e que de várias formas interferem no(s) curso(s) de ação realizado(s). Essa dinâmica é representada na Fig. 1.

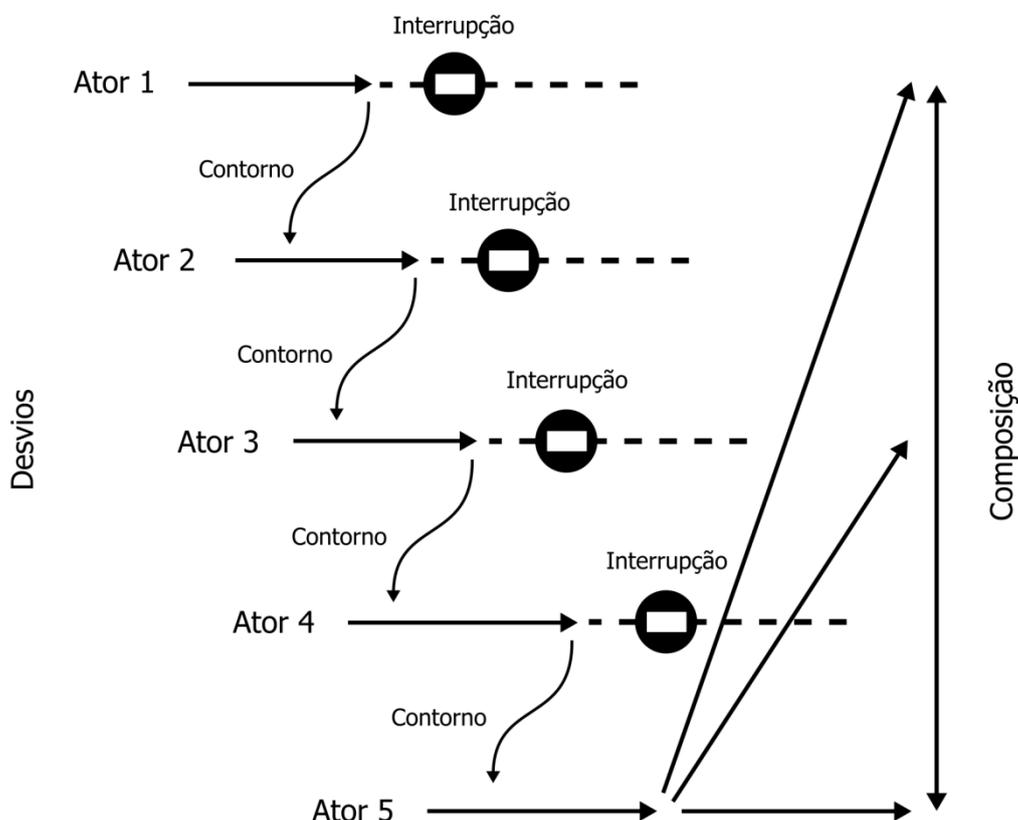


Fig. 1 – Representação esquemática das operações de tradução. Fonte: LATOUR, 2016, p. 33.

As operações de tradução modificam diretamente a performance dos atores que constituem a rede, o que implica dizer que as características de um dado ator são estabelecidas relacionalmente. Produto de uma **relacionalidade radical** (LAW, 2006), a própria identidade dos atores é negociada (portanto, construída socialmente) e as características que os definem dependem exclusivamente das relações contingenciais construídas com os diversos atores a que estão associados:

Para nós, a identidade dos atores, por exemplo, é um resultado negociado: quem é um técnico, quem é competente, quem é projetista, o que é um bom departamento de engenharia, quem é confiável, quem é o mais criativo, qual é a especialização ou a experiência de tal pessoa, etc. Essas são algumas das questões debatidas pelos atores. A identidade desses atores é produzida, portanto, na ação e pela ação.

Aqueles que estão envolvidos numa situação se atribuem reciprocamente interesses e influências e constroem acordos relacionados às maneiras de fazer e aos resultados obtidos (VINCK, 2013, p. 280-281, grifos nossos).

Dessa forma, nada se pode saber sobre a natureza dos atores a priori, o que evidencia outra fonte de incertezas na análise: ter conhecimento se determinada entidade se comportará como um intermediário ou como um mediador. Identifica-se um **intermediário** em uma rede quando um elemento (ou um conjunto de elementos) não modifica ou transforma significados, apenas transporta-os – o elemento analisado atua, portanto, como uma caixa-preta neste dado momento. **Caixa-preta** é uma expressão tomada por empréstimo da cibernética pela Teoria Ator-Rede, sendo empregada para designar quando “*uma máquina ou um conjunto de comandos se revela complexo demais. Em seu lugar é desenhada uma caixinha preta, a respeito da qual não é preciso saber nada, a não ser o que nela entra e o que dela sai*” (LATOURET, 2011, p. 4). Embora uma caixa-preta possa ser extremamente complexa, enquanto atua como um intermediário não haverá transformações inesperadas de significado ou performance e ela permanecerá previsível e estável. **Mediadores**, por sua vez, são imprevisíveis em relação aos significados que transportam, podendo transformá-los, distorcê-los e modificá-los de formas inesperadas, alterando cursos de ação. Os mediadores são evidenciados durante as controvérsias e possuem potencial de arrastá-las para as mais diferentes direções, modificando performances e alterando significados contingencialmente. Contudo, a distinção entre os comportamentos dos atores – intermediários ou mediadores – deve apenas ser verificada pontual e momentaneamente uma vez que suas identidades são construídas relacionalmente na rede.

Tendo em vista tais apontamentos sinalizados pela Teoria Ator-Rede, apresentam-se as diversas tentativas de estabilização de um aparato, o plano inclinado, voltado para atividades experimentais, construído por um licenciando em Física e cujos cursos de ação sinalizam para a forma como as identidades dos atores reunidos são permanentemente negociadas e renegociadas na rede. Contudo, antes da discussão da análise dos dados, será apresentada a metodologia empregada na pesquisa.

III. Metodologia

A descrição da construção de um aparato destinado a atividades experimentais para o ensino de ciências como um processo de criação, refinamento e estabilização não só de fenômenos, mas também de atores, será aqui discutida e analisada qualitativamente a partir do estudo de um caso específico (YIN, 2016): a construção de um plano inclinado de Galileu, enquanto experimento didático levado a cabo por um licenciando em Física, da modalidade Educação a Distância (EaD), da Universidade Federal de Goiás (UFG), com a finalidade de compor o seu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Os dados analisados consistem em registros escritos realizados pelo próprio licenciando, fotografias da construção do aparato

experimental (também registrados pelo licenciando) e por uma entrevista estruturada realizada com ele ao final de todo o processo, na qual buscou-se evidenciar as situações controversas que o processo de construção do aparato suscitou. No início dos trabalhos, o licenciando foi orientado, pelo tutor presencial do polo da EaD e coorientador do TCC, a fazer registros detalhados de todo o processo e a refletir sobre os significados dos problemas que emergiam de sua execução.

Devido às características metodológicas da Teoria Ator-Rede, a apresentação dos dados se faz de forma descritiva, com a maior quantidade de detalhes possível, tendo por objetivo evitar uma simplificação tanto de dados quanto de análise, uma vez que as unidades de análise estão presentes nos detalhes da descrição. Como consequência, os dados são apresentados dentro de uma estrutura narrativa que procura descrever cronologicamente a construção da rede e as negociações realizadas *a partir da perspectiva dos próprios atores*, evidenciando as linguagens e os conceitos por eles utilizados. Nesse contexto de análise, os conceitos da Teoria Ator-Rede desempenham apenas um papel secundário, atuando como “uma espécie de plano cartesiano em que o mapa das associações que compõem o mundo social é desenhado se seguirmos as marcas feitas pelos atores” (LATOURETTE, 2012, p. 13) e auxiliando na identificação dos principais elementos envolvidos. A análise dos percursos dessa construção procurou enfatizar as diversas negociações e desvios que o licenciando foi forçado a fazer em sua busca pelo controle e previsibilidade dos atores heterogêneos associados ao seu aparato experimental. Logo, a análise acompanha a perspectiva do licenciando, as compreensões que possui dos problemas enfrentados e as aprendizagens proporcionadas pelos desvios e contornos realizados. A cada nova associação a identidade dos atores se modificava, levando o aparato a desenvolver uma performance diferente, obrigando o licenciando a fazer novas negociações e promover novas aprendizagens.

Algumas das operações de tradução realizadas pelo licenciando foram organizadas e apresentadas de forma esquemática a exemplo da *Fig. 1*, a fim de facilitar o processo de análise das performances obtidas e das controvérsias enfrentadas. Parte das redes obtidas foram representadas sob a forma de gráficos gerados no *Gephi*, um *software* de código aberto (*open-source*) de manipulação de grafos, próprio para análises de relações do tipo rede. Os gráficos apresentados foram gerados a partir das relações apreendidas nas descrições e análises realizadas do trabalho desenvolvido pelo licenciando. Essas relações foram inseridas no software por meio de uma tabela de relações que conecta um ator a outro. A partir desta tabela, foi realizada uma análise no *software* por meio do *ForceAtlas 2*, um algoritmo indicado para interpretação qualitativa de gráficos sem escala, ideal para redes pequenas e médias (entre dez e dez mil nós). Nos gráficos apresentados durante a análise, a dimensão dos nós (os atores) é proporcional ao seu peso relativo na rede, isto é, quanto mais conexões o nó (ator) realiza e mantém, maior será o seu tamanho no gráfico. Essa análise é importante para se evidenciar atores que se tornam essenciais para a manutenção temporal da rede e para o seu pleno funcionamento.

Por fim, cabe destacar alguns aspectos que possibilitaram tornar os dados construídos mais interessantes: a relação próxima entre o tutor presencial – que já possuía contato com a Teoria Ator-Rede – e o licenciando, o que proporcionou avanços na compreensão de tudo o que ocorria durante a construção do aparato experimental e permitiu orientar o registro das ações de modo a possibilitar uma análise mais aprofundada posteriormente; a vontade presente no licenciando em construir um experimento diferenciado, estimulado pela dinâmica de pesquisa construída em parceria com o tutor presencial, sempre se preocupando em refinar os dados do experimento o máximo possível – por esse motivo ele será denominado durante toda a análise como “*Licenciando Experimentador*” –, o que aumentou o grau de complexidade do aparato construído. Todo este ambiente contribuiu para a qualidade dos dados e interfere diretamente na qualidade das análises e avanços conquistados por este trabalho. Sem mais, passa-se agora à apresentação dos resultados e as análises decorrentes.

IV. Resultados e discussões

IV.1 Estabilizar uma ideia: convencendo os primeiros atores

As ações de planejamento e construção do aparato experimental pelo *Licenciando Experimentador* (LE) tiveram início em fevereiro de 2018, devido à necessidade de desenvolver um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), já que ele iniciara o último ano do curso de Licenciatura em Física da UFG. Os alunos deveriam desenvolver um trabalho acadêmico relacionado a um tema vinculado ao ensino de Física; o escolhido por LE foi a experimentação. Entretanto, mesmo esse processo de escolha do tema do TCC não se dá num vazio. O licenciando mobiliza as redes construídas ao longo de sua vida, que tornam possível o seu *modo de existência* (LATOURET 2019), e que dão suporte à sua capacidade de tomada de decisão e de criação diante de novos desafios:

LE: Eu decidi fazer experimento pelo seguinte... É porque eu ia tirar de uma coisa concreta, que eu estava vendo... para mim é mais fácil escrever sobre uma coisa real, do que sobre uma coisa fictícia [puramente teórico]. Eu criar uma coisa, ou tirar de um livro, ou qualquer coisa ali que eu não tivesse participado diretamente. Que não tivesse sido construído por mim. E eu achei que era uma coisa que eu tinha que, como nós estudamos esse contexto... é... nosso... contexto, que eu quero dizer, do nosso cotidiano. Coisa do nosso cotidiano. Por eu tá envolvido, ter... tido minha vida toda envolvida com eletrônica, com essas coisas, desde criança, então achei que para mim era mais fácil falar de uma coisa que participasse do meu mundo. Escrever [o TCC] sobre uma coisa que estava presente no meu dia a dia (Trecho retirado da entrevista realizada com LE).

Essa habilidade para construir objetos práticos manualmente, produto de sua vivência, resultou também em conhecimentos que agora serão mobilizados para a construção do experimento. Apesar da habilidade com a eletrônica, proveniente de aventuras na infância com a desmontagem de aparelhos domésticos, e de um curso de eletrônica à distância

realizado décadas atrás, LE evita experimentos na área do Eletromagnetismo, por considerá-la excessivamente teórica e complexa, principalmente para se organizar as explicações. Logo, na rede que começa a ser construída, o ator *Eletromagnetismo* exige negociações cuidadosas por parte de LE que, apesar de desejar utilizar alguns de seus elementos de forma prática no experimento, não se sente confortável com a sua linguagem teórica. Entretanto, a proximidade com os conceitos da área de Mecânica, propicia que o ator *Mecânica* seja percebido como algo mais palpável, mais próximo de sua realidade e teoricamente organizado de uma forma mais acessível para LE, e tais percepções influenciaram a escolha da área de conhecimento físico para a construção do experimento. Essa situação indica, portanto, uma das primeiras negociações que LE precisou fazer para dar início ao trabalho de construção do aparato. As relações com os conceitos tanto do Eletromagnetismo quanto da Mecânica precisaram ser negociadas e organizadas pelo licenciando para se estabelecer um ponto de partida. Na rede em construção fica evidente que *as identidades dos atores “Eletromagnetismo” e “Mecânica” são contingencialmente estabelecidas* (mais difícil/mais fácil; explicação mais restrita/explicação mais acessível, mais teórico/mais prático, etc.) em relação a LE.

Definida a área de interesse que predominaria, o licenciando inicia uma pesquisa sobre possíveis experimentos que poderia explorar. Recorre a materiais disponíveis no *YouTube* – outro ator agregado à rede – para obter mais informações. Dentre os materiais consultados, o vídeo que inicialmente o guiou foi o “Experimento sobre Dinâmica – Leis de Newton”⁵, que consistia na apresentação de um *experimento de plano inclinado*, ator caracterizado por um carrinho sobre um trilho com uma determinada inclinação em relação ao plano horizontal, conectado a um peso por um fio fino e leve. O fio passa por uma polia antes de se conectar ao peso, que se encontra dependurado. O objetivo desse experimento é fazer o cálculo da aceleração do sistema e compará-lo ao valor teórico esperado. O vídeo foi considerado *interessante* pelo licenciando devido à apresentação matemática do problema realizada antes da demonstração prática. A partir desse vídeo, *LE traça uma estratégia* para a construção de um aparato experimental similar, porém, com uma diferença: ele pretende calcular a força de atrito presente no problema. Uma expansão na rede é realizada e outra é planejada, já que o licenciando sistematiza um projeto escrito para ser entregue ao seu orientador.

LE, que valorizava muito a experimentação, se sentiu incomodado durante as atividades de estágio, principalmente, devido à ausência quase que completa de atividades práticas nas aulas de Física que acompanhava. Desse modo, um dos objetivos de seu trabalho seria mostrar que a construção de experimentos didáticos era algo simples de ser realizado pelo professor. A partir daí surge a *primeira controvérsia*: LE não conseguiu convencer outro ator quanto à suposta facilidade de se realizar uma medida da força de atrito no experimento

⁵ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=RTg2Vna9fa8>>. Acesso em: 15 abr. 20.

sugerido, a saber, o seu orientador de TCC. O orientador o alerta sobre as dificuldades em se fazer uma medida da força de atrito, indicando que o experimento planejado poderá se tornar ***excessivamente complexo*** (*a identidade do experimento encontra-se aqui em negociação*) e contradizer a sua intenção inicial. O orientador é, portanto, um ator da rede que não foi convencido pelo curso de ação original e os objetivos associados a ele, forçando o licenciando a operar um desvio.

Em busca de agregar ***simplicidade*** ao experimento – ou seja, alterar a sua identidade atual – e visando à estabilização do projeto que sequer havia começado, LE realiza ***um desvio para a Cinemática***: no lugar de determinar a intensidade da força de atrito presente no experimento, será medida a aceleração de um objeto descendo um plano inclinado. Os detalhes e as consequências desse desvio são apresentados a seguir.

IV.2 Associações heterogêneas: tentando tornar os atores previsíveis

Tendo por objetivo simplificar o experimento ao realizar um desvio para a Cinemática, o licenciando retorna às suas pesquisas buscando, principalmente no *YouTube*, por novas ideias e alternativas para realizar as modificações necessárias. Dentre os vídeos consultados agora estão “*Galileo's Experiment – Inclined Plane*”⁶, e “Tema 07 – Aplicações Simples da Lei de Newton | Experimentos – Galileu”⁷, “Tema 07 – Aplicações Simples da Lei de Newton | Experimentos – Plano inclinado”⁸, da Universidade de São Paulo (USP). Com efeito, LE inicia os planejamentos para a construção do novo experimento, denominado por ele de “Plano Inclinado de Galileu”. O objetivo deste experimento consiste no estudo da aceleração desenvolvida por um corpo de testes ao descer uma rampa inclinada. **O objetivo do curso de ação de LE é, portanto, deslocado** de uma medida da força de atrito para uma medida da aceleração de um corpo de prova em um plano inclinado.

Apesar de ter encontrado aparatos experimentais bastante parecidos nos vídeos consultados, LE decide implementar algumas modificações. Insatisfeito com a forma de medida do tempo apresentada nos vídeos – tomado manualmente com o auxílio de um cronômetro –, *ele se interessa por uma medida de tempo mais precisa*: planeja substituir o cronômetro manual por fotosensores operados por um microcontrolador Atmega 328, cujos dados seriam registrados em um *display* de cristal líquido a ser adicionado ao aparato. Por sugestão de seu coorientador, o tutor presencial no polo de estudos EaD do curso a que o licenciando estava vinculado, **é realizado um outro desvio**, substituindo o microcontrolador Atmega 328 pela plataforma de prototipagem Arduino. **Novamente aqui há uma negociação da identidade dos atores** com que se pretende construir a rede: o cronômetro manual é identificado como um ator falho e impreciso, enquanto que os fotosensores controlados por

⁶ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=KEXqAVfoTEU>>. Acesso em: 15 abr. 20.

⁷ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=TMRxSAjMptM>>. Acesso em: 15 abr. 20.

⁸ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=wnk8Y7ZSTE0>>. Acesso em: 15 abr. 20.

um microcontrolador Atmega 328 e associado a um *display* de cristal líquido são identificados como um ator certo e preciso; posteriormente, essas identidades são renegociadas a partir da possibilidade de se utilizar outro ator, a plataforma de prototipagem *Arduino* – aquilo que era percebido como um dispositivo certo e preciso passa a ser visto como um dispositivo de usabilidade restrita e inadequado, quando comparado com as possibilidades experimentais abertas com a utilização do *Arduino* (novamente, a identidade dos atores é completamente relacional).

A plataforma *Arduino* já era de conhecimento de LE, que havia realizado alguns testes em outras oportunidades:

LE: Uns dois anos antes de iniciar o curso... com o Arduino [...] Só fazendo experimentos, como um hobby [...], somente para projeto experimental e para aprender programação [...]. Com experimentos mais simples: acender LED e fazendo modificações nos programas. Eu montei termômetro... para medir temperatura... controle de motor... de velocidade de motor. Só com a intenção de estudar programação. Porque a parte da eletrônica eu já tenho uma certa facilidade (Trecho retirado da entrevista realizada com LE).

Logo, a **plataforma de prototipagem Arduino** é recrutada pelo licenciando e alia-se à rede em construção. Mais precisamente, esta plataforma é materializada pela placa *Arduino UNO*, pelos fios conectores que ligam os sensores à placa *Arduino UNO* e a placa ao computador, e pela interface virtual própria de mediação entre o computador e a placa. Ela consiste, portanto, na primeira **caixa-preta** que o licenciando mobiliza na tentativa de construir uma rede minimamente estável. Na construção experimental esboçada por LE, não é necessário saber a forma como a placa *Arduino UNO* funciona a fundo, ou como ela estabelece conexão com os sensores ou com o computador. Basta apenas saber que o sinal captado pelos fotosensores produz uma **inscrição** no computador, uma lista de valores, que poderá ser utilizada para a análise e avaliação posterior do experimento. Enquanto **intermediário** que não produz modificações de sentido na rede em construção, pretende-se que a plataforma *Arduino* se torne um ator que agregará previsibilidade e estabilidade ao projeto em construção.

As controvérsias enfrentadas pelo licenciando resultaram na realização de diversos desvios, a associação de novos atores e a negociação das identidades de todos os envolvidos. A composição obtida até aqui é, portanto, ilustrada na Fig. 2.

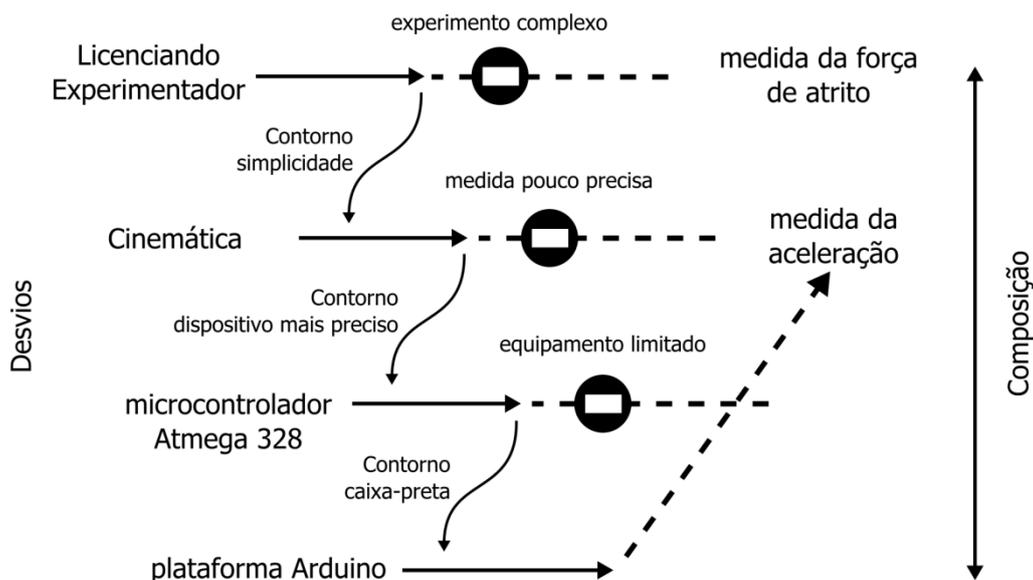


Fig. 2 – As primeiras operações de tradução realizadas por LE. Fonte: os autores.

Na tentativa de reforçar a ideia de que o experimento consistia em algo fácil de se elaborar, e seguindo algumas instruções apresentadas pelo vídeo “16_Plano Inclinado de Galileu”⁹, também da USP, LE iniciou a construção de alguns sensores com circuitos contendo fototransistores a fim de serem utilizados no experimento, mas a complexidade do artefato (uma nova controvérsia) o fez desistir dessa intenção (um novo desvio):

LE: Inclusive o [vídeo] que eu olhei, da USP... eles fabricam os sensores a partir do zero. Com transistores, com cada diodo, com cada LED separado... vai montando. Só que... eu montei um conjunto de sensores assim e vi que se a minha ideia era simplificar, eu precisava de uma coisa pronta. Daí eu peguei os sensores que já tinha pronto [...] Até então eu estava com a ideia de construir o sensor, para poder fazer e querendo mostrar que é fácil construir [...] que construir os sensores é simples também [...] Mas, assim, não é viável. O melhor é... já que tem pronto para você comprar o sensor... [...] O professor precisaria de um técnico de eletrônica para montar o sensor daquele jeito (Trecho retirado da entrevista realizada com LE).

A complexidade presente na construção do sensor se torna uma controvérsia do experimento. **A identidade de outro ator é negociada:** de “simples” e “fácil”, o sensor se tornou “complexo” e “trabalhoso”. A quantidade de elementos presentes em um fotossensor e a forma com que estes devem ser associados entre si estão representados na Fig. 3. Ao não ter sucesso nessa tentativa de abrir uma caixa-preta – o fotossensor –, com o objetivo de

⁹ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=C1Q83dacnvM>>. Acesso em: 15 abr. 20.

demonstrar a facilidade de se construir esse artefato, o licenciando realiza outro desvio: **agora, no sentido de desistir de abrir a caixa-preta e apenas agregá-la ao experimento.** Agregar o sensor pronto e estável ao projeto significa agregar previsibilidade à rede do experimento em construção.

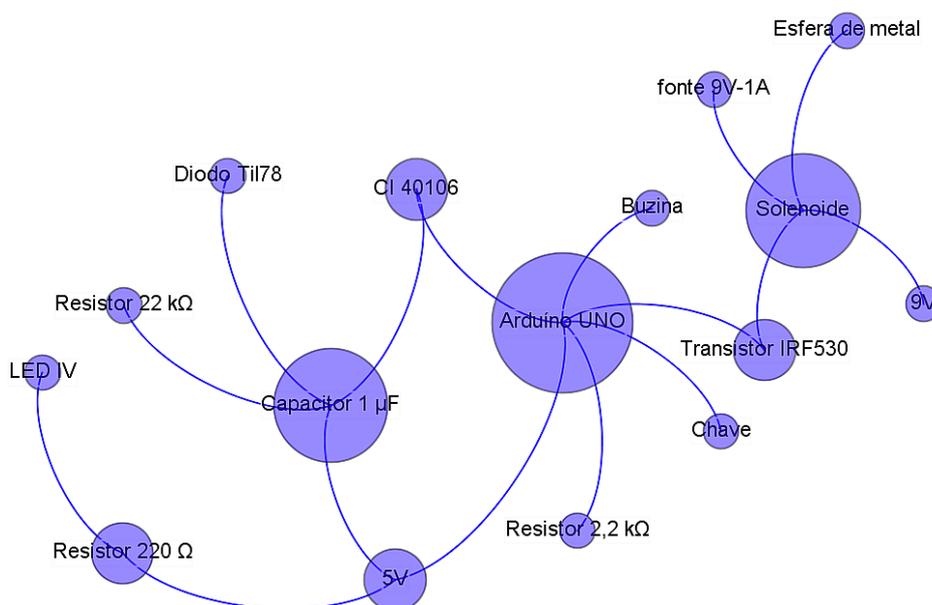


Fig. 3 – Elementos que constituem a rede do fotossensor – de artefato simples, o fotossensor tornou-se complexo devido às exigências que as associações impõem à rede. Fonte: os autores.

Realizadas as escolhas dos atores que à primeira vista aparentavam ser os mais críticos (plataforma Arduino e os fotossensores), o licenciando volta a sua atenção para atores supostamente menos controversos, com a finalidade de realizar alguns testes iniciais. Foi construído um primeiro protótipo, produzido em uma escala menor ao que estava planejado para o produto final, associando-se novos atores sob a forma de um experimento: uma mangueira transparente que serviu como canaleta foi apoiada sobre uma placa protoboard para fazer as conexões do circuito de sensores, uma fita métrica fixada por dentro da mangueira e os sensores fixados ao longo da mangueira por meio de abraçadeiras de nylon de 2,5 mm de espessura (Fig. 4 no centro). O algoritmo para fazer a tomada de tempo com os sensores, outro ator agregado à rede, foi obtido no livro (em inglês) “Arduino WorkShop” (BOXALL, 2013). O código transforma os sensores, que atuam normalmente como chaves em circuitos, em cronômetros que registram o tempo que o corpo de prova leva para chegar até determinada posição. Como todo mediador associado a uma rede, o experimentador precisou fazer **uma negociação com o código de programação** do cronômetro: o código, após algumas tentativas, foi alterado para permitir a construção de uma tabela de tempo utilizada no cálculo da velocidade e da aceleração em cada sensor.

Nesse protótipo inicial foram realizadas medidas de queda livre de uma esfera plástica retirada do reservatório de tinta de um pincel de quadro branco (Fig. 4 à esquerda), utilizada como corpo de prova. A função principal desse experimento era testar os sensores e, principalmente, os códigos de programação responsáveis por fazer as medidas de tempo e de velocidade. Os testes iniciais indicaram valores de aceleração da gravidade para a região periférica de Goiânia (local da residência de LE) de, aproximadamente, $9,778 \text{ m/s}^2$ e $9,695 \text{ m/s}^2$ (Fig. 4 à direita) – resultados que foram julgados como “bons” e “satisfatórios”. O aparelho construído tem capacidade de medida de tempo da precisão de milissegundos. Verificada a estabilidade dos sensores e do sistema que realizava a medida (contribuindo para a nova identidade negociada desses atores), LE avança para a construção do projeto de fato.

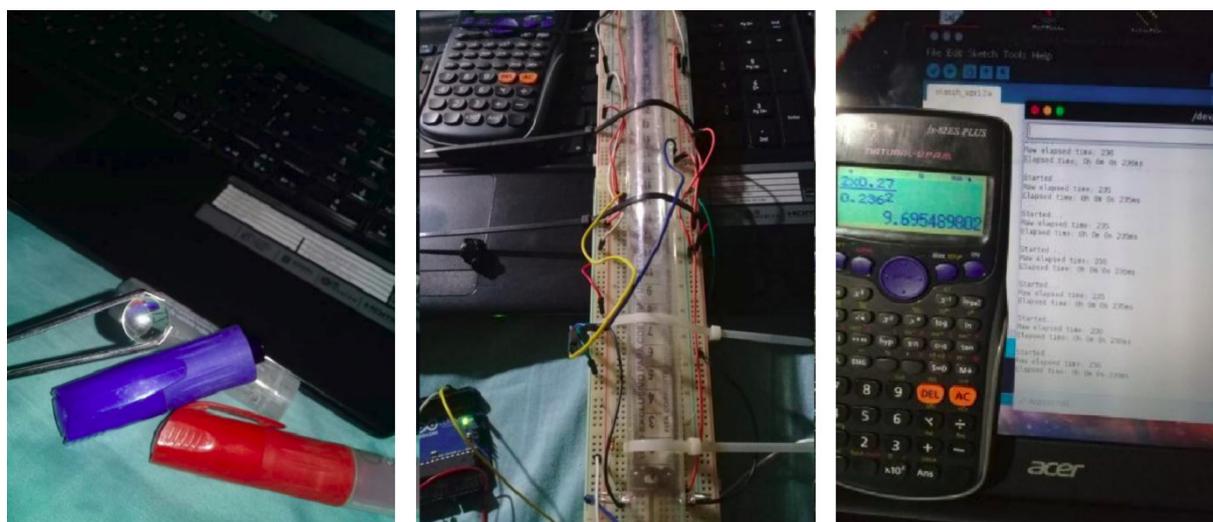


Fig. 4 – O corpo de prova no experimento de queda livre (à esquerda), protótipo construído para os testes iniciais (no centro), e os dados e o resultado da aceleração obtidos (à direita). Fonte: os autores.

A construção do experimento em uma escala maior, voltado para uma apresentação em sala de aula requer **mais uma série de desvios**. LE substitui os atores provisórios e faz a primeira montagem do aparato planejado: a mangueira transparente é substituída por uma calha de alumínio lisa de 1,20 m de comprimento, a esfera de tinteiro de pincel de quadro branco foi substituída por uma esfera retirada de um desodorante *roll on* e os sensores foram todos instalados, seis no total. Uma alteração realizada em relação ao protótipo construído anteriormente, consiste na construção do aparato voltado para a experimentação do “Plano Inclinado de Galileu”, deixando de lado o arranjo voltado para a experimentação de movimentos de queda livre. **Nesse momento surge uma controvérsia** que acompanhará o experimentador durante todas as etapas posteriores da construção de seu projeto: a aceleração medida pelo seu dispositivo não era constante, como seria de se esperar. Esse problema levou-o a fixar os sensores em distâncias exatas, **o que adicionou outra controvérsia à rede em**

construção.

As controvérsias, em geral, têm origem quando se busca associar atores caracteristicamente heterogêneos, ou seja, atores que não possuem inicialmente afinidade alguma entre si e que são justapostos na busca por uma associação estável. Esta controvérsia em específico foi identificada por LE como uma dificuldade em se obter as posições exatas para a instalação dos sensores na calha lisa. Como não haviam marcações ao longo da calha utilizada, as medidas de distância estavam sempre sujeitas a falhas e o manuseio constante dos sensores para a sua devida calibração (outro momento problemático) forçavam os sensores para fora da posição em que foram inicialmente instalados.

LE: Eu não tinha a precisão dos 20 centímetros, era uma calha comum de alumínio sem marcação [...] Daí eu comprei uma calha [trilho] de estante... uma calha de alumínio dessas que usa em estante de parede. Com marcações a cada 20 centímetros, então ela tem um ponto [um orifício]. Aí eu usei essa marcação, que eu conferi também, além de ver que ali realmente tinha os 20 centímetros exatamente. A partir daí, refiz todos estes testes [...] com o aparelho todo montado no trilho e marcado (Trecho retirado da entrevista realizada com LE).

A troca da calha lisa, originalmente utilizada, por um trilho com marcações fixas espaçadas de 20 centímetros foi, portanto, **mais um desvio realizado** e que encerrou a controvérsia da posição dos sensores do experimento. A aceleração medida, porém, continuou sofrendo variações, o que deixou o licenciando bastante preocupado. A partir desse momento, **o objetivo principal dele passa a ser o refinamento máximo dos dados obtidos** com o artefato experimental. Isso o levou a procurar por novas associações e a fazer novos desvios na direção de recrutar atores mais estáveis e previsíveis.

IV.3 Negociando com porta-vozes inesperados

A preocupação constante com a qualidade dos dados colocou o licenciando experimentador em *uma nova controvérsia*: a procura por um corpo de prova ideal para o experimento. Uma vez convencido de que o problema da aceleração variável obtida em suas medidas não era mais uma consequência direta do posicionamento dos sensores ao longo da calha de alumínio, suas atenções se voltam para a esfera utilizada até então. Dentre os problemas mais visíveis na utilização da esfera de desodorante *roll on*, LE destaca o fato de o objeto ser “muito leve e não ser uma esfera perfeita” (Trecho retirado da entrevista realizada com LE). *Um novo desvio é realizado*: a esfera de desodorante é, então, substituída por uma bola de bilhar, nitidamente mais pesada e com um formato, supostamente, mais próximo de uma esfera perfeita. Entretanto, esse desvio não significou o final da controvérsia.

Além do movimento produzido pela bola de bilhar continuar resultando em medidas que sinalizavam para uma aceleração variável, novas incompatibilidades inesperadas entre os atores surgiram. A bola de bilhar nº 8, preta, insistia em não se associar adequadamente à rede do experimento, uma vez que a sua passagem não era registrada pelos sensores instalados ao

longo do trilho. A causa desse problema foi atribuída, na interpretação do licenciando, à reação da cor da bola, preta, ao sinal eletromagnético emitido e detectado pelo sensor: o infravermelho. Novamente, problemas sempre ocorrem quando se tenta associar atores heterogêneos, que originalmente não possuem relação entre si. O sensor utilizado no experimento consiste de um arranjo composto de um LED emissor de luz infravermelha e de um fototransistor sensível também ao infravermelho; quando passa pelo sensor, o objeto, normalmente, reflete o infravermelho emitido pelo LED que, por sua vez, é captado pelo fototransistor que, então, registra uma medida. Por ser da cor preta, a bola não reflete o infravermelho emitido pelo sensor, tornando-se invisível a ele. Esta conclusão pôde ser verificada pelo licenciando quando realizou o teste com o círculo branco da bola, com o nº 8, voltado para a direção do sensor: o sistema registra o tempo de deslocamento do objeto normalmente. A bola nº 8, portanto, não é um ator previsível na rede do experimento e precisa ser substituída.

Prosseguindo em seu desvio em direção à bola de bilhar, LE realiza alguns testes com mais algumas e começa a perceber diferenças entre elas. A medida dos tempos de deslocamento e a aceleração obtida continuam imprevisíveis e não estabilizadas, entretanto as bolas possuem comportamentos diferentes quando utilizadas no experimento. Assim, como identificar a bola ideal? A velocidade com que a bola desce a inclinação, o fato de a bola deslizar ou não sobre a superfície (para LE, de acordo como a compreensão que possuía naquele momento, era desejável que a bola não deslizasse, mas sim rolasse sobre a superfície, para manter o movimento o mais estável possível) são algumas das características observadas pelo experimentador: “Se eu coloco a esfera uma vez, ela me dá uma medida. Se eu coloco outra vez, ela me dá uma medida diferente” (Trecho retirado da entrevista realizada com LE). *Várias identidades passam a ser atribuídas para diferentes bolas de bilhar*, todas elas sempre relacionadas ao comportamento desempenhado no experimento. Mais uma vez, a identidade dos atores é um resultado negociado na rede. Aqui, o experimentador se convence de que a bola de bilhar é o corpo de prova ideal para a construção do experimento, deixando de questionar o tipo de objeto para investigar seus detalhes. O desafio agora está justamente na busca pela bola de bilhar mais previsível.

Até o momento, as características e a performance de cada bola eram negociadas diretamente com a rede do experimento: o licenciando realizava diversos testes e medidas de tempo com cada bola obtida no próprio plano inclinado construído. Assim que percebeu comportamentos diferenciados para cada bola, o que suscitou o interesse pela bola de bilhar mais perfeita, a que possuía melhor distribuição de massa, a que era mais esférica, etc., ele iniciou a sua busca pela bola que enfim estabilizaria o seu experimento. No entanto, *mais uma controvérsia toma forma na sua busca*: se as identidades das bolas de bilhar são o resultado da negociação dessas com o aparato experimental, como identificar a bola ideal analisando-as no estabelecimento comercial, antes da compra? Afinal, era completamente inviável transportar o trilho, os sensores, os circuitos, o computador e toda a rede já construída pelo experimentador, montá-la no estabelecimento comercial, e realizar os testes até se encontrar bola de bilhar

ideal. Nesse momento, entretanto, *porta-vozes inesperados* apareceram para mediar essa negociação:

LE: Tem diferença sim [entre as bolas de bilhar]. Eu peguei dois tacos de sinuca, peguei um taco de trinta... dois tacos de R\$ 30,00, coloquei... Eles já têm uma certa inclinação. Coloquei em cima da mesa. Peguei a bola de R\$ 12,00, essa bola comum, primeiro... descendo nesse taco. Você escuta o barulho da bola descendo, percebe tudo. Peguei um par de tacos de R\$ 400,00, R\$ 600,00... Tem até esse valor lá. Coloquei lá o par, coloquei a mesma bola e percebi também [o som]. E quando você pega uma bola... Eu peguei uma bola de R\$ 60,00, uma bola importada... de resina não sei das quantas lá, norueguesa. Coloquei em cima desse taco e não escuta barulho nenhum! [...] De tão perfeita que ela era. [...] É por causa da distribuição de massa na bola (Trecho retirado da entrevista realizada com LE).

Nesse momento, **a identidade do taco de sinuca é renegociada por LE e passa a se comportar como um porta-voz da qualidade da bola de bilhar.** Na Teoria Ator-Rede, “O porta-voz é alguém que fala em lugar do que não fala” (LATOURET, 2011, p. 108). Ou seja, alguns pares de tacos de sinuca foram mobilizados pelo experimentador que, na relação construída e negociada com as bolas de bilhar ali no estabelecimento comercial, conseguiu torná-los **mediadores da identidade dessas bolas**, porta-vozes que lhes informarão qual será a bola de bilhar mais adequada para o seu experimento e qual não será. Com efeito, LE utiliza-se dos porta-vozes recém-descobertos (construídos) para encontrar a bola que traria maior estabilidade à rede de seu experimento – aquela que possui o comportamento mais previsível:

LE: Inclusive na bola que eu comprei, eu escolhi, dentre todas ali, aquela que apresentava menos ruído ao descer no taco, a que eu percebia que não tinha vibração... Eu estava segurando numa ponta e na outra do taco e percebi que não tinha vibração nenhuma no taco. A que apresentou melhor resultado ali foi a que eu usei (Trecho retirado da entrevista realizada com LE).

LE percebeu que o taco de sinuca lhe informaria qual bola poderia melhor contribuir com o seu experimento e qual não poderia. O ruído e a vibração, sinais de variadas imperfeições presentes tanto nos tacos quanto nas bolas, foram exploradas de modo a identificar a presença de atritos indesejados ao experimento e a reconhecer que bolas possuíam uma distribuição de massa mais uniforme. Os atritos de rolamento das bolas sobre os tacos e uma distribuição de massa desigual nas bolas eram percebidos como atores indesejados à rede do experimento. Tornavam-no imprevisível. A bola de bilhar mais estável possível ao experimentador foi obtida por meio dessas negociações, entretanto, o experimento ainda não está pronto. Aquela controvérsia da aceleração insiste em resistir a todas as novas associações realizadas.

IV.4 Mais negociações e processos de convencimento

A rede construída pelo LE ainda não se encontrava totalmente pronta. Faltavam alguns atores para se ocuparem de detalhes do experimento. Entretanto, a rede obtida não estava satisfazendo plenamente os interesses de LE, visto que começou a enfrentar *a controvérsia da limitação de recursos financeiros disponíveis para o experimento*:

LE: Foi colocando a bola de bilhar, aí eu fui obtendo resultados mais precisos. Eu percebi que ela era uma bola com uma massa bem distribuída, simplesmente perfeita para o experimento.

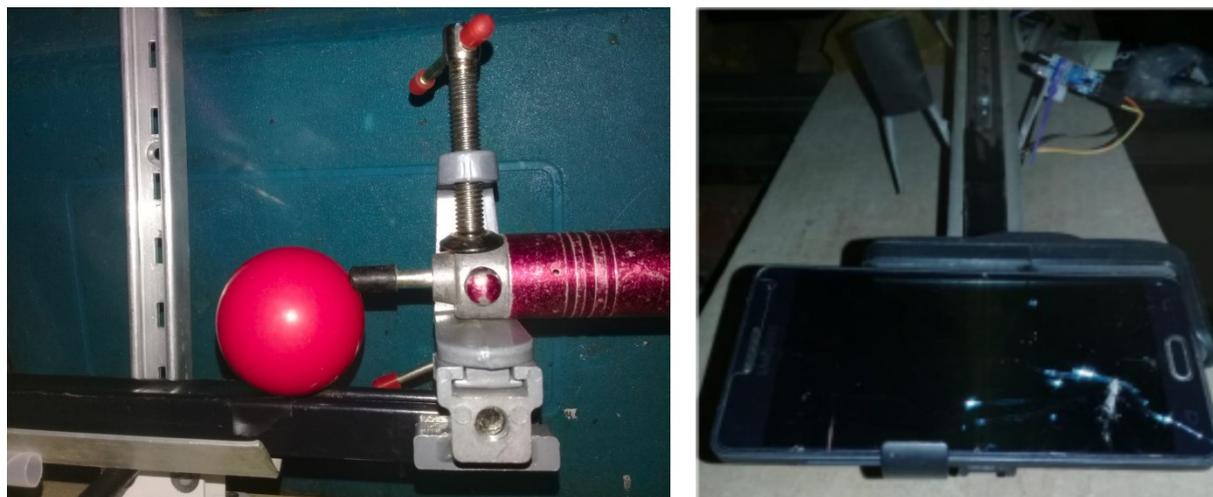
Você saiu procurando a bola de bilhar mais perfeita?

LE: Exatamente, só que eu comprei uma bola barata, uma bola que custa R\$ 12,00, mas fiquei com vontade de comprar uma de R\$ 60,00 [risos] (Trecho retirado da entrevista realizada com LE).

Aqui, **o licenciando realiza um desvio de objetivos** devido à controvérsia enfrentada: a busca pela bola de bilhar mais perfeita foi desviada para a busca pela bola de bilhar mais perfeita e financeiramente acessível. Apesar de a bola de bilhar mais estável ter sido encontrada, o seu elevado custo (R\$ 60,00 por uma única bola) tornou-a um ator completamente inviável de se agregar à rede – **a identidade da bola de bilhar se altera novamente**. Desse modo, um desvio foi realizado no sentido de se agregar à rede uma bola de bilhar financeiramente mais acessível, a de R\$ 12,00, fazendo-se uma negociação entre custos e desempenhos das bolas disponíveis para venda. O custo do material passou a ser uma característica determinante para a identidade da bola de bilhar no experimento.

Outros atores foram agregados à rede do experimento: um disparador para a bola, construído com um sugador de solda para trabalhos em eletrônica, preso ao trilho de alumínio com uma morsa – mais precisamente a mola presente no sugador foi utilizada como disparador (Fig. 5, à esquerda); um amortecedor para a bola de bilhar instalado no final do trilho, com a intenção de evitar danos ao corpo de prova – construído com uma roda de patinete associado a um parafuso envolto com um tipo de bucha para dificultar o movimento do eixo-parafuso; um segundo trilho com suportes de alumínio foi utilizado como apoio para a inclinação; para a medida dos ângulos de inclinação do “Plano Inclinado de Galileu”, LE utilizou o seu próprio *smartphone*, com o auxílio de um aplicativo que utiliza os sensores giroscópio e magnetômetro, presentes no aparelho, para realizar uma medida da declividade do trilho – logo, precisou ser adicionado ao experimento um suporte para *smartphone*, daqueles para fixação em painéis de automóveis (Figura 5, a direita). Em contrapartida, outros atores agregados foram abandonados ao longo do projeto, como, por exemplo, o programa para construir gráficos automaticamente a partir dos dados obtidos com o experimento. Apesar de funcionar perfeitamente durante a tomada de dados, o *software* foi abandonado por “motivos pedagógicos” – para LE a construção automática do gráfico tornaria o comportamento dos alunos muito passivo. Desse modo, como uma das atividades propostas para a aula experimental seria a elaboração dos gráficos pelos próprios alunos, o *software* de

construção de gráficos foi retirado da rede do experimento.



*Fig. 5 – O corpo de prova no experimento de plano inclinado (à esquerda), e o celular utilizado como instrumento de medida para a inclinação do experimento (à direita).
Fonte: os autores.*

Apesar de todas as buscas e negociações realizadas, a rede do experimento insistia em não se estabilizar da forma com que o licenciando experimentador desejava. A aceleração variável percebida ao longo da trajetória da bola de bilhar permaneceu presente e constante em seus dados apesar de todas as modificações implementadas. Isso começou a deixá-lo angustiado, à medida que o problema persistia, mesmo com todas as alterações e melhorias que conseguiu criar. Enfim, LE voltou as suas negociações à Mecânica, na intenção de buscar uma explicação para os dados registrados. Consultou livros de Física básica – livros textos do curso de Física – e livros um pouco mais avançados sobre Mecânica Vetorial. Por fim, depois de fazer pesquisas em materiais textuais e consultar professores e colegas do curso, ele chegou à seguinte conclusão:

LE: Eu fiz isso aí, porque eu tinha conversado com o WAC [outro licenciando, engenheiro eletricista aposentado] e chegou [à conclusão]... Acho que é isso aí e tal... Até então eu achava que estava falando besteira [...] Ele [WAC] falou 'Você não vai conseguir fazer essa calibragem aí porque essa energia [potencial gravitacional], ela vai ser distribuída entre a rotação e a translação.' Foi o primeiro a ter falado isso para mim, mas daí eu comecei a pesquisar e, mesmo estudando nos livros e tudo... e nada. E você [tutor do curso] problematizou a minha cabeça [risos]. Seu método de problematização me forçando a estudar e descobrir... Mas no final das contas, realmente, é isso. Mas até eu chegar nessa... até eu concordar que aquilo ali... entendeu. Confundi a minha cabeça todinha... Eu fiquei perdido nessa parte da Mecânica, porque eu não tinha certeza de nada e isso me atrapalhou a escrever o meu trabalho. Isso aí me atrapalhou. (Trecho retirado da entrevista realizada com LE).

Como dito no início, mesmo com todos os desvios realizados em direção ao refinamento do experimento, melhorando a qualidade dos dados obtidos durante os testes, a controvérsia da aceleração variável persistiu até o final. Independente da forma com que ele buscava negociar e reorganizar os atores mobilizados, o comportamento indesejado do aparato experimental permaneceu presente até o momento em que LE procurou renegociar seus próprios conhecimentos de Mecânica com outros atores (livros, colegas de curso, professores, etc.). Nesse momento **a identidade da bola de bilhar altera-se novamente**: de corpo de prova ideal, ou o mais próximo do ideal que se pôde obter, ela passa a ser um corpo de prova com dimensões que interferem diretamente na coleta de dados. Ao questionar novamente o corpo de prova, em torno do qual todo o experimento havia sido negociado e ajustado, **o experimentador encontra-se num impasse**: substituir o corpo de prova por outro menor (cujas dimensões não interferissem nos resultados obtidos) e ser forçado a reorganizar e reestruturar todo o experimento; ou manter o corpo de prova atual (a bola de bilhar) e não alterar o experimento. Com efeito, a alteração do corpo de prova provocaria uma renegociação quase que completa do experimento, pensado em construído para a utilização de um corpo de prova de dimensões maiores. Em contrapartida, o tempo disponível para a finalização do experimento, e conseqüentemente, para a escrita do TCC, estava próximo do fim. **Esse cenário levou LE a tomar uma decisão**: não fazer novas alterações no aparato experimental.

Durante a entrevista, ao ser questionado se o experimento estava finalmente pronto, o licenciando respondeu: “O experimento está pronto, mas dá para melhorar” (Trecho retirado da entrevista realizada com LE). Percebendo que não seria capaz de promover as modificações necessárias para se tentar corrigir o problema da aceleração variável, a explicação negociada com os atores citados anteriormente, por fim, **convenceu o experimentador**: dois movimentos diferentes são realizados pela bola de bilhar, um de rotação e outro de translação (que não foram considerados simultaneamente nas análises anteriormente realizadas por LE, mas que impactavam diretamente nos resultados obtidos por ele) – e ainda pode ocorrer da bola deslizar sobre o trilho (o que pode ser minimizado com a utilização de uma pequena inclinação do trilho utilizado no experimento). A identidade do experimento é alterada uma última vez: **o experimento como um todo torna-se, portanto, uma caixa-preta e passa a ser assim apresentado a cada nova demonstração**. O experimento outrora problemático, torna-se estável. Aquilo que era complexo se torna objeto de explicações simples e didáticas.

As controvérsias suscitadas pela construção experimental modificaram incessantemente o curso de ação do licenciando experimentador promovendo uma série de desvios, a associação de novos atores e a renegociação das identidades de todos os envolvidos. Por fim, a composição obtida é ilustrada na Fig. 6. Uma vez que o aparato experimental foi concluído, tornando-se uma caixa-preta, LE o apresenta aos colegas de turma como um instrumento sofisticado para demonstrar a aceleração constante. Aparentemente, o seu aparato não é problemático e se comporta de forma previsível, embora leve um tempo

considerável para a sua montagem completa. Para a conclusão de seu TCC, o licenciando realiza uma aula prática utilizando o aparato em uma turma de 1ª série do Ensino Médio em uma escola pública da periferia da região metropolitana de Goiânia. O experimento é apresentado como uma simples demonstração, com a discussão da atividade restrita ou a teoria física envolvida ou ao funcionamento dos componentes eletrônicos embutidos no aparato – aqui as controvérsias ficaram de fora da sua abordagem didática. Afinal, o experimento funciona.

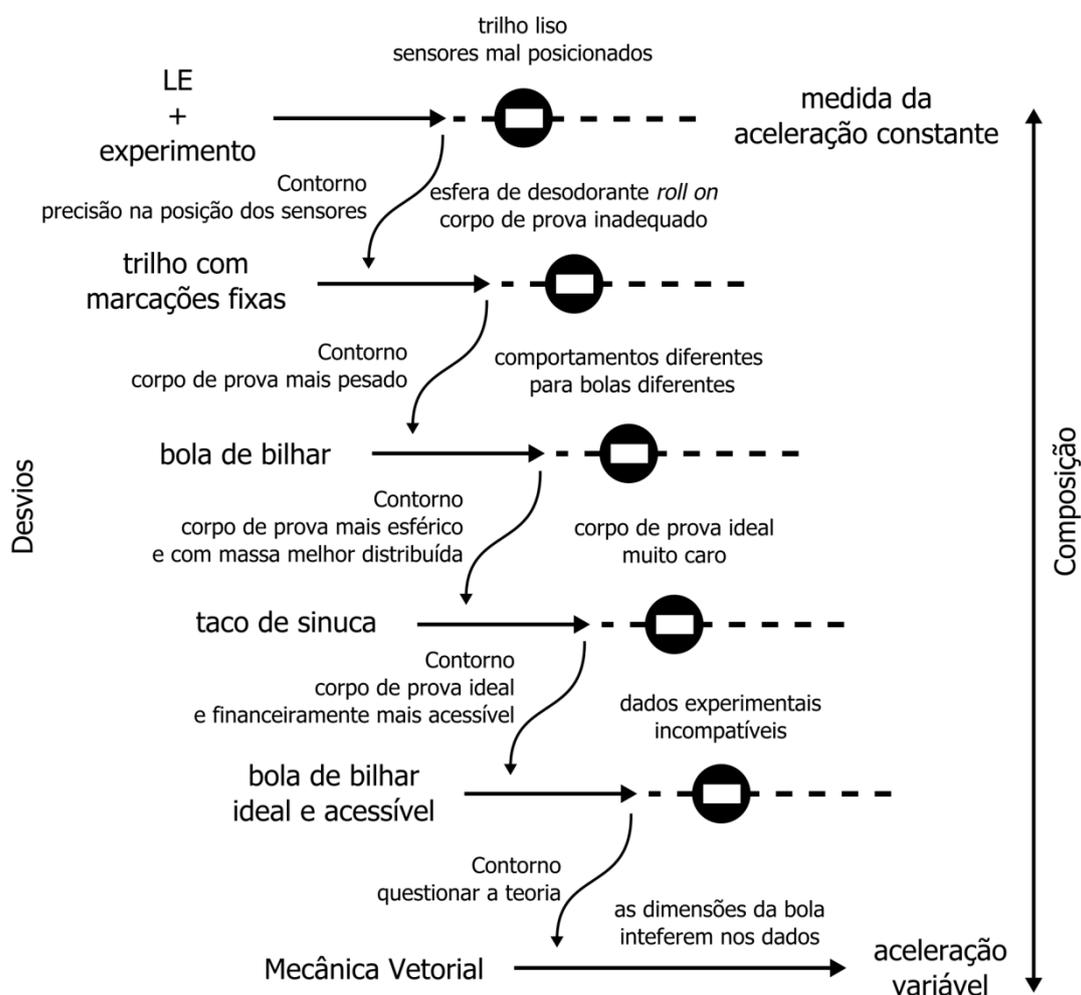


Fig. 6 – As operações de tradução realizadas por LE para a estabilização do experimento. Fonte: os autores.

V. Considerações finais: algumas contribuições para a Educação em Ciências

A análise apresentada destacou aspectos daquilo que se está denominando de **Abordagem Híbrida da Educação em Ciências**, ao permitir abrir a caixa-preta que se tornou a natureza da experimentação e da atividade científica na Educação em Ciências em pontos interessantes, destacados a seguir. O primeiro ponto consiste em destacar que o

processo de construção do aparato experimental realizado pelo licenciando permitiu não só vivenciar como também evidenciar uma aproximação com algumas características típicas da construção científica, sobretudo que “atividade científica não trata da ‘natureza’, ela é uma luta renhida para construir a realidade. O laboratório é o local de trabalho e o conjunto das forças produtivas que torna essa construção possível” (LATOURE; WOOLGAR, 1997, p. 278). Experimentação realizada por LE é uma atividade de construção, intervenção e manipulação de uma realidade específica e artificialmente construída: o movimento com aceleração constante em um plano inclinado. O fato de o fenômeno ter sido conquistado séculos atrás pela Física, não o torna prontamente acessível a um estudante de Física em uma atividade experimental, ou melhor, na rede associada a atividade experimental. A aceleração constante em um plano inclinado é um fenômeno extremamente específico, obtido apenas sob determinadas condições, dito de outra forma, sobre determinadas configurações da rede de agentes e que, como descrito aqui, é realmente muito complicado de se obtê-la. Da mesma forma que o tempo de queda de corpos de massas diferentes ser exatamente o mesmo é, igualmente, um caso específico de um fenômeno experimental construído, que ocorre somente se determinadas condições de existência forem adequadamente satisfeitas: a experimentação consiste no planejamento e construção de uma realidade específica, não necessariamente estando relacionada ao estudo da natureza em si.

Com efeito, o segundo ponto a ser destacado permite fazer uma contraposição à ideia corrente de que a experimentação permite “isolar fenômenos”. A análise permitiu sinalizar que fenômenos, como o da aceleração de corpos em planos inclinados, também são socialmente construídos na situação de desenvolvimento de um aparato experimental para o ensino de Física. Não no sentido restrito e excludente da palavra social estabelecida pela teoria sociológica tradicional (LATOURE, 2012) – constituído exclusivamente por seres humanos – mas naquele atribuído pela Teoria Ator-Rede: um conjunto de associações de atores heterogêneos, que se modificam uns aos outros através das relações estabelecidas e que juntos constroem e estabilizam (ou modificam) um aspecto da realidade. De acordo como a Teoria Ator-Rede, **uma vez que a experimentação é um processo de criação, negociação e estabilização de fenômenos e atores, cujas identidades são permanentemente renegociadas e transformadas a cada nova relação, criar e manter um fenômeno estável é torná-lo mais social e coletivo ainda**. Tal característica ganha destaque nos dados analisados a respeito da construção do aparato experimental. Ao observar a rede das relações criadas e negociadas por LE para a estabilização do fenômeno da aceleração constante (ver Fig. 7), cada um dos atores destacados e as conexões (as relações) que realizam contribuem para assim mantê-lo. Cada ator foi agregado na tentativa de se solucionar uma controvérsia específica, de modo que a sua supressão tende a colapsar parcial ou integralmente a rede construída, ou seja, essa parte da realidade. Por sua vez, a construção do aparato experimental envolveu testes de equipamentos diversos: sensores, corpo de prova, software, circuitos, etc. Os dados analisados possibilitam realizar aqui uma crítica à noção simplista de que um experimento é capaz de “comprovar” ou “falsear” uma teoria a partir dos resultados obtidos

de seu funcionamento, sendo eles ajustados ou não a uma hipótese prévia: em situações de incerteza presentes durante construção e estabilização de um fenômeno, o erro pode estar em qualquer parte. A tese do falsificacionismo, muitas vezes presente no ensino de ciências, tende a simplificar demais o fato de um experimento não funcionar e a reação do experimentador aos resultados insatisfatórios. Quando uma controvérsia ocorre (o não funcionamento de parte do aparato ou um resultado inesperado/indesejado, por exemplo) não há como saber *a priori* qual ator é problemático – a dúvida nunca se restringe ao universo teórico, mas a tudo aquilo que os interessados na estabilização do fenômeno têm em mãos, seja material ou simbólico. Algo que ficou evidente durante a construção do aparato experimental realizado por LE e que também ocorre de forma muito mais intensa na atividade científica de fato, em que as incertezas são bem maiores quando comparadas com as incertezas presentes nas atividades experimentais da ciência escolar. Logo, a trajetória de LE sinaliza que os percalços enfrentados nas atividades de construção de experimentos no contexto da Educação em Ciências podem ser explorados para produzirem aprendizagens de questões epistemológicas como essas.

O terceiro ponto a ser destacado consiste na dualidade existente entre as explicações fornecidas pela ciência pronta e pela ciência em construção. Recorrendo-se à metáfora do deus romano Jano Bifronte (cuja face idosa representa o futuro e a face jovem, o passado) utilizada por Bruno Latour (2011) para simbolizar a dualidade de discursos entre a “ciência pronta” e a “ciência em construção”, pode-se fazer a seguinte observação: para aqueles que observam o experimento finalizado e didaticamente demonstrado (aquele que frequentemente é realizado em sala de aula), a mensagem transmitida é a de que se “a máquina funcionar”, os alunos (e professores também!) “se convencerão” das leis da Física – face idosa de Jano, a ciência pronta e acabada; entretanto, para aqueles envolvidos na construção e estabilização de um fenômeno (mesmo em casos como o de LE, em que não se está disputando a construção de um fenômeno inédito numa instituição científica), **que buscam a estabilidade e o sentido nos dados e nos fenômenos investigados, e se deslocam em ambientes de incertezas e decisões relativamente complexas em seus contextos**, “a máquina vai funcionar quando as pessoas interessadas estiverem convencidas” (Fig. 8). Dessa forma, a análise sinaliza que o experimento só foi capaz de funcionar adequadamente quando LE (a pessoa interessada) se convenceu de que as anomalias encontradas não se tratavam de anomalias de fato, mas sim de um comportamento intrínseco ao seu experimento e que, agora, era capaz de fornecer uma explicação razoável. Logo, dependendo da forma com que se aborda a experimentação, pode-se trabalhar uma das duas faces da ciência, completamente distintas uma da outra: uma ciência estanque, estável e isolada (associada à atividade experimental puramente demonstrativa e aproblemática); ou uma ciência dinâmica, instável e extremamente social (mais próxima do processo de construção aqui analisado).

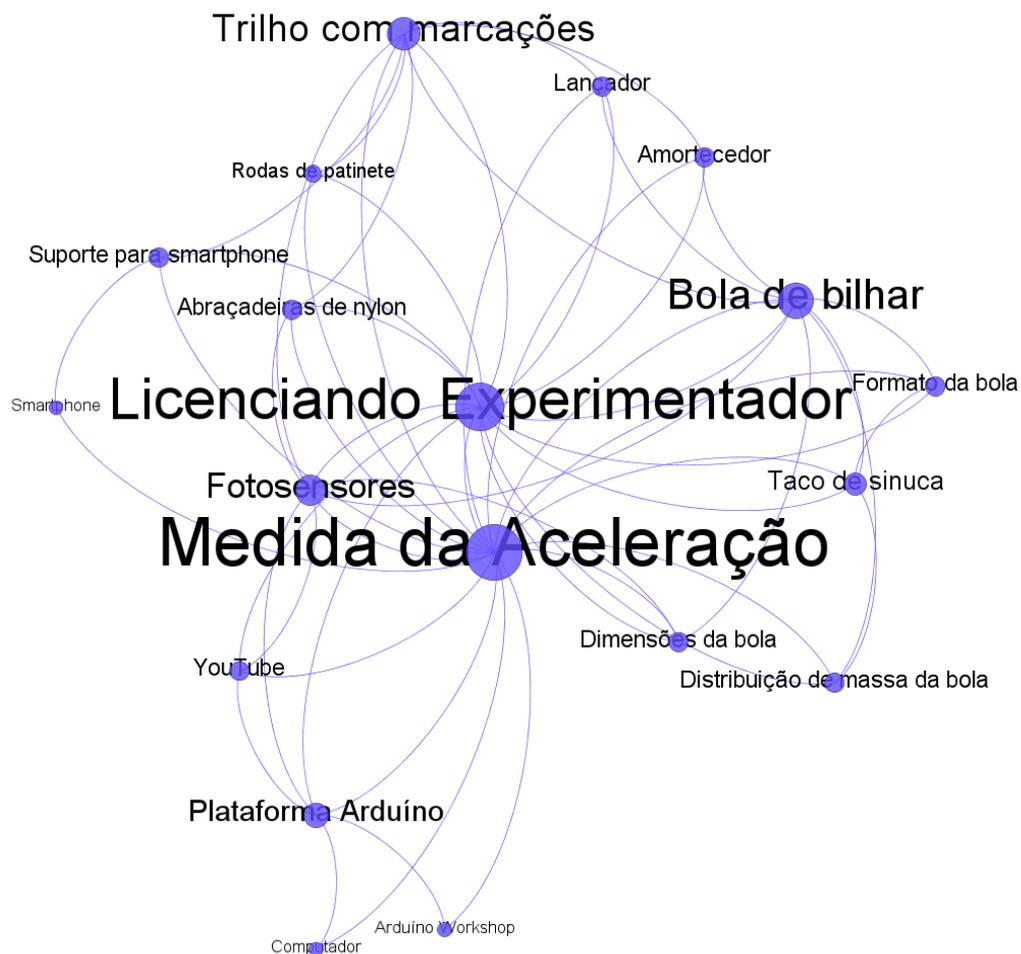


Fig. 7 – A rede do experimento “Plano Inclinado de Galileu” construído por LE.
 Fonte: os autores.

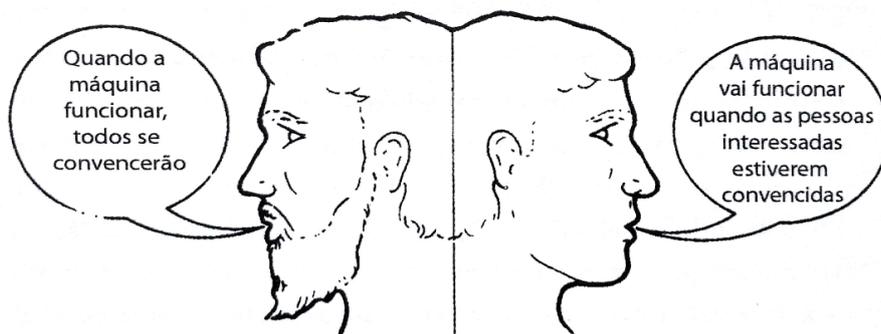


Fig. 8 – As duas faces de Jano Bifronte, representando a “ciência pronta” (à esquerda) e a ciência em construção (à direita). Fonte: LATOUR, 2011, p. 15.

Toda essa riqueza de detalhes apresentada aqui desapareceu durante a escrita do relatório científico, o TCC, o que destaca ainda mais o contraste entre as duas faces da ciência. Em seu relatório, LE apresenta uma caixa-preta completamente estável, capaz de demonstrar conceitos físicos elementares em poucos instantes. Uma descrição muito distante da análise apresentada, na qual a sua relação com as bolas de bilhar chega a ser bastante similar àquela estabelecida entre Isaac Newton e os prismas de vidro em seus experimentos com refração da luz: “Newton começou a transformar o ‘prisma de vidro triangular’ comercial em um instrumento experimental complexo” (SCHAFFER, 2002, p. 251). À medida que surgem controvérsias em torno da experimentação, os atores se veem obrigados a adentrar nos detalhes e a explorar as possibilidades que dali emergem. Mesmo um ramo da ciência relativamente consolidado pode se tornar controverso quando se busca a materialização de seus fenômenos, principalmente no contexto pedagógico.

Por fim, o quarto e último ponto a ser destacado consiste no papel pedagógico desempenhado pela controvérsia na experimentação. O trabalho prático de construção de aparatos experimentais com materiais alternativos tem potencial para explorar as controvérsias que surgem quando se busca associar atores caracteristicamente heterogêneos, que não possuem inicialmente afinidade alguma entre si e que são justapostos na busca por uma associação estável – desde que esteja guiado por uma proposta pedagógica orientada para evidenciar as controvérsias resultantes dessa construção. Por meio das controvérsias consegue-se ressaltar, no ambiente de ensino e aprendizagem, principalmente a existência de uma **política dos objetos – ou política dos não-humanos** – que se justapõe à política tradicionalmente conhecida – a política dos humanos – e evidencia a necessária **mediação de mundos híbridos**, fundamental para se manter estável qualquer tipo de agrupamento social, seja ele relacionado à produção científica ou não. Além disso, por serem momentos de tensão e de incertezas, as controvérsias obrigam os atores a adentrarem nos detalhes das associações e das mediações. Trabalhar com controvérsias permite, portanto, discutir os detalhes do experimento (currículo) e da experimentação (epistemologia) que não teriam espaço em uma abordagem que apenas apresenta o ponto de vista da face idosa de Jano Bifronte – a ciência pronta e acabada.

Referências bibliográficas

ALVES-FILHO, J. P. **Atividades experimentais**: do método à prática construtivista. 2000. 370 f. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BARBERÀ, O.; VALDÉS, P. El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. **Enseñanza de las ciencias**: revista de investigación y experiencias didácticas, v. 14, n. 3, p. 365-379, 1996.

BOXALL, J. **Arduino WorkShop**. San Francisco: Starch Press, 2013.

CRUZ, S. M. S. C. S.; ZYLBERSZTAJN, A. O enfoque ciência, tecnologia e sociedade e a aprendizagem centrada em eventos. In: PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. Florianópolis: UFSC, 2001. p. 171-196.

DEWEY, J. **Experiência e natureza**. São Paulo: Abril S.A. Cultural e Industrial, 1974.

ECHEVERRÍA, J. **Filosofía de la ciencia**. Madrid: Ediciones Akal, 1995.

GENOVESE, L. G. R.; CUNHA, J. A. R. Plano inclinado: um experimento galileano na Educação Básica. **Física na Escola**, v. 14, n. 2, p. 48-51, 2016.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química nova na escola**, v. 10, n. 10, p. 43-49, 1999.

HACKING, I. **Representar e Intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012. p. 7-38.

HAMMES, O.; SCHUHMACHER, E. O. Plano Inclinado: uma atividade de modelização matemática. **Experiências em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 66-85, 2011.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational philosophy and theory**, v. 20, n. 2, p. 53-66, 1988.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, N. The role of the laboratory in Science Teaching: neglected aspects of research. **Review of Educational Research**, v. 52, p. 201-207, 1982.

KOYRÉ, A. **Estudos Galilaicos**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1992.

KNORR-CETINA, K. D. **La fabricación del conocimiento: un ensayo sobre el carácter constructivista y contextual de la ciencia**. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes. 2005.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

LATOUR, B. **Ciência em Ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora**. São Paulo: UNESP, 2011.

LATOUR, B. **Reagregando o social: uma introdução à teoria do ator-rede**. Salvador: Edufba;

Bauru: Edusc, 2012.

LATOUR, B. **Cogitamus**: seis cartas sobre as humanidades científicas. São Paulo: Editora 34, 2016.

LATOUR, B. **Investigação sobre os modos de existência**: uma antropologia dos modernos. Petrópolis: Vozes, 2019.

LAW, J. Networks, relations, cyborgs: on the social study of technology. In.: READ, S.; PINILLA, C. (Ed.) **Visualizing the Invisible**: Towards an Urban Space. Spacelab, 1. Amsterdam: Techne Press, 2006. p. 84-97.

LEAL, R. R.; SCHETINGER, M. R. C.; PEDROSO, G. B. Experimentação Investigativa em Eletroquímica e Argumentação no Ensino Médio. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 10, n. 6, p. 142-162, 2019.

MENDONÇA, A. L. O. Ian Hacking – uma ponte entre a tradição e a pós-modernidade. In.: HACKING, I. **Representar e Intervir**: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012. p. 7-38.

PEREIRA, R. S. G.; DOS SANTOS JUNIOR, G. A calibração de um micrômetro: uma experiência no ensino por meio da modelagem matemática. **Experiências em Ensino de Ciências**, Cuiabá, v. 6, n. 2, p. 124-132, 2011.

POZO, J. I.; CRESPO, M. Á. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PRAIA, J. F.; CACHAPUZ, A. F. C.; GIL-PÉREZ, D. Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 8, n. 1, p. 127-145, 2002a.

PRAIA, J. F.; CACHAPUZ, A. F. C.; GIL-PÉREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 8, n. 2, p. 253-262, 2002b.

REZZADORI, C. B. D. B.; DE OLIVEIRA, M. A. A Rede Sociotécnica de um Laboratório de Química do Ensino Médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, Cuiabá, v. 6, n. 3, p. 16-37, 2011.

ROSITO, B. A. O ensino de ciências e a experimentação. In: MORAES, R (Org). **Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas**, 2008. v. 3. p. 195-208.

SCHAFFER, S. Trabalho com vidros. In.: COHEN, I. B.; WESTFALL, R. S. **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Rio de Janeiro: Contraponto/EDUERJ, 2002.

SHINN, T.; RAGOUET, P. **Controvérsias sobre a ciência: por uma sociologia transversalista da atividade científica**. São Paulo: Editora 34, 2008.

TANG, K. Scientific Practices as an Actor-Network of Literacy Events: Forging a Convergence Between Disciplinary Literacy and Scientific Practices. In: PRAIN, V.; HAND, B. (ed.). **Theorizing the Future of Science Education Research**, v. 49, Springer, p. 83-98, 2019.

THUILLIER, P. **De Arquimedes a Einstein: a face oculta da invenção científica**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994.

VINCK, D. Epílogo: posturas para uma etnografia das técnicas. In: VINCK, D. (Org.). **Engenheiros no Cotidiano: etnografia da atividade de projeto e de inovação**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2013. p. 273-305.

VINCK, D. (Org.). **Engenheiros no Cotidiano: etnografia da atividade de projeto e de inovação**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2013. p. 273-305.

YIN, R. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).