

O Experimento como uma Rede de Controvérsias: associações, negociações e seus impactos na educação em ciências

The Experiment as a Network of Controversies: associations, negotiations and their impacts on science education

Thiago Vasconcelos Ribeiro

Faculdade Unida de Campinas / Universidade Federal de Goiás
thiago.v.ribeiro@live.com

Cláudio Morais Silvano

Universidade Federal de Goiás
claudiomssi@hotmail.com

Aliny Tinoco Santos

Universidade Federal de Goiás
alinytinoco@gmail.com

Luiz Gonzaga Roversi Genovese

Universidade Federal de Goiás
lgenovese@ufg.br

Resumo

O presente trabalho apresenta reflexões à cerca da prática de um licenciando do curso de Física da Universidade Federal de Goiás, que tendo em vista seu Trabalho de Conclusão de Curso, se propôs a construir e refinar um experimento. Os dados foram obtidos através de uma entrevista estruturada com o objetivo de identificar as controvérsias e negociações realizadas na intenção de se buscar a estabilização do experimento. A análise, fundamentada na Teoria Ator-rede, procurou evidenciar que a identidade dos objetos utilizados no experimento é sempre negociada na relação com os demais atores da rede. Por fim, destaca-se, a dualidade existente entre o discurso da ciência em construção e do discurso da ciência pronta, assim como o caráter da experimentação enquanto construção social e por fim o papel pedagógico das controvérsias na experimentação.

Palavras-chave: Teoria Ator-Rede; experimento; estabilização; Educação em Ciências.

Abstract

This paper presents reflections about the practice of a licenciando of the course of Physics of the Federal University of Goiás, that in view of its Work of Conclusion of Course, it was proposed to construct and to refine an experiment. The data were obtained through a structured interview with the objective of identifying the controversies and negotiations carried out in order to seek the stabilization of the experiment. The analysis, based on the actor-network theory, sought to show that the identity of the objects used in the experiment is always negotiated in the relationship with the other actors in the network. Finally, the duality between the discourse of the science under construction and the discourse of ready science, as well as the character of experimentation as a social construction, and finally the pedagogical role of the controversies in experimentation, is highlighted.

Key words: Theory Actor-Network; experiment; stabilization; Science Education.

Introdução

A experimentação e o trabalho de laboratório, tanto na filosofia quanto na sociologia da ciência, tornaram-se objetos de uma análise mais próxima e profunda, sem uma relação hierarquizada com a teoria e com a filosofia da ciência teórica, a partir da década de 1980 (HACKING, 2012). Filósofos e sociólogos adentraram, então, nas “fábricas” das ciências e delinearam práticas científicas distintas e complexas, cheias de suspense e contornos dramáticos, e descreveram o conhecimento científico em construção: vivo, disputado, controverso e negociado. É nesta perspectiva que o presente trabalho se insere, buscando sinalizar algumas contribuições sobre a natureza da experimentação para o ensino de ciências. Com efeito, o sentido adotado aqui para o termo *experimentação* é próximo daquele empregado por Ian Hacking, quando diz que:

Experimentar 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).

Para além dessa definição, *a experimentação como criação, refinamento e estabilização não só de fenômenos, mas também de atores*, será aqui discutida e analisada qualitativamente (YIN, 2016) a partir de um caso específico: a construção de um experimento didático 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 foram obtidos por meio de registros do licenciando, de seu TCC e por uma entrevista estruturada em que se buscou evidenciar as situações controversas que o processo suscitou. A análise, realizada com base nos conceitos da Teoria Ator-rede, permitiu 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.

A Teoria Ator-rede tem sua origem na sociologia da ciência no final da década de 1980 e diferencia-se da sociologia tradicional ao descrever a sociedade como uma associação ou o encadeamento de *atores heterogêneos* que, devido a múltiplas relações estabelecidas entre si, constituem uma *rede*. Aqui, a palavra “ator” não designa exclusivamente “seres humanos”. Trata-se de uma definição performativa (relacional) – por oposição a uma definição substantiva, que faça referência a alguma essência imutável (LATOURETTE, 2012) – em que os atores são reconhecidos sobretudo devido a relações que estabelecem entre si, no âmbito das

negociações e das exigências que impõem uns aos outros, constituindo, juntos, uma **rede de associações**. O conceito “ator” pode designar tanto seres naturais quanto seres artificiais, desde que façam determinadas exigências e/ou imponham negociações à rede. Desse modo, destaca-se que a materialidade da rede, associada a elos com atores tanto naturais quanto artificiais, desempenha papel fundamental na (re)definição de seu sucesso ou de seu fracasso.

Como veremos a seguir, todas as características que constituem uma determinada rede são relacionais, isto é, dependem exclusivamente das relações contingenciais construídas entre os diversos atores que estão associados. Dito de outra forma, a própria **identidade dos atores é negociada** (VINCK, 2013) e, portanto, construída socialmente. Logo, serão apresentadas a seguir as diversas tentativas de estabilização do aparato experimental pelo licenciando, cuja trajetória sinaliza a forma como a identidade dos atores reunidos é permanentemente negociada e renegociada na rede.

Associações heterogêneas: tentando tornar um experimento estável

Em fevereiro de 2018, o Licenciando Experimentador (LE) adentra no 8º período do curso de Licenciatura em Física da UFG com a preocupação de desenvolver seu TCC. Os alunos deveriam desenvolver um trabalho relacionado ao ensino de ciências, e o tema escolhido por ele foi a experimentação. Após algumas consultas a materiais disponíveis no *YouTube*, LE inicia a construção de um experimento, denominado por ele de “*Plano Inclinado de Galileu*”. O objetivo deste experimento consiste no estudo da aceleração desenvolvida por um corpo de prova ao descer uma rampa inclinada. A rede construída por ele inclui diversos atores: uma calha de alumínio usada como trilho para uma bola de bilhar (corpo de prova), sensores fotossensíveis para o registro do tempo, uma placa de prototipagem *Arduino UNO*, fios conectores que ligam os sensores à placa e a placa a um computador, um aparelho celular para realizar a medida da inclinação da calha, etc. Durante os primeiros testes, **surge uma controvérsia** que acompanhará LE durante toda a construção de seu projeto: a aceleração medida em seu dispositivo não era constante conforme o previsto em sua análise teórica. Na Teoria Ator-rede, uma controvérsia é um conflito entre atores e redes que geralmente resulta em uma interrupção de um determinado **curso de ação**. Controvérsias são responsáveis por impulsionar os atores à (negoci)ação e à mobilização de novos atores (e novas redes), ou à reorganização de atores já mobilizados. Esse movimento de reestruturação das redes existentes e de construção de novas associações resulta em um **desvio** do curso de ação original (LATOURE, 2016). A partir desse momento, **o objetivo principal dele passa a ser o refinamento máximo dos dados obtidos**. Isso o levou a procurar por novas associações e a fazer novos desvios na direção de recrutar atores mais estáveis e previsíveis. Após algumas modificações no experimento, e a persistência do problema, LE volta as suas atenções para o corpo de prova.

LE realiza testes com algumas bolas de bilhar diferentes e percebe diferenças entre elas. O tempo e a aceleração obtidos continuam imprevisíveis e não estabilizados, entretanto as bolas se comportam de forma diferente quando utilizadas no experimento. A velocidade com que a bola desce a inclinação e o fato de a bola deslizar ou não sobre a superfície (é desejável que role sobre a superfície) 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*”¹. **Várias identidades passam a ser atribuídas para diferentes bolas**, todas elas sempre relacionadas ao comportamento desempenhado no experimento. A identidade dos atores é um resultado negociado na rede, o que leva LE a questionar os detalhes dos objetos,

1 Todas as citações analisadas neste texto foram retiradas das transcrições da entrevista com LE.

com o desafio de encontrar a bola de bilhar mais previsível.

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. –, LE iniciou a busca pela bola que estabilizaria o seu experimento. No entanto, ***outra controvérsia toma forma***: 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 a bola de bilhar ideal. Nesse momento, entretanto, ***porta-vozes inesperados*** aparecem para mediar essa negociação:

LE: Eu peguei dois tacos de sinuca... dois tacos de R\$ 30,00... 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.

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 lhe informaram qual é a mais adequada para o seu experimento e qual não é. Com efeito, LE utiliza-se dos porta-vozes recém-descobertos (construídos) para encontrar a bola que traria maior estabilidade à rede de seu experimento:

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 bola de bilhar mais estável foi encontrada, entretanto, ela não poderia ser utilizada no experimento. A rede construída pelo licenciando não estava satisfazendo plenamente seus interesses, visto que começou a enfrentar ***uma nova controvérsia: a 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.

E: 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].

LE 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, seu alto preço (R\$ 60,00) 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.

Entretanto, a rede do experimento insistia em não se estabilizar da forma como LE desejava – a variação da aceleração da bola de bilhar persistia. Enfim, ele voltou suas negociações para a Mecânica, na intenção de buscar uma explicação para os dados registrados. Depois de fazer pesquisas em materiais textuais e consultar professores e colegas do curso (novos atores agregados à rede do experimento), chegou à seguinte conclusão:

LE: Eu fiz isso aí, porque eu tinha conversado com o WAC [outro licenciando, engenheiro electricista aposentado], ele 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.

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 o corpo de prova, em torno do qual todo o experimento havia sido negociado e ajustado, LE 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 e construído para a utilização de um objeto 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.

Ao perceber que não seria capaz de promover as modificações necessárias para tentar corrigir o problema da aceleração variável a tempo, 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 – e ainda pode ocorrer de a bola deslizar sobre o trilho (o que pode ser minimizado com a utilização de uma pequena inclinação do experimento). Nesse momento, a identidade do experimento é alterada: **o experimento como um todo se torna uma caixa-preta e passa a ser assim apresentado a cada nova demonstração**. 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*” (LATOURETTE, 2011, p. 4). Logo, o experimento, outrora problemático e complexo, tornou-se estável e objeto de explicações simples e didáticas.

Considerações Finais: contribuições para o ensino de ciências

A análise apresentada permite levantar alguns pontos interessantes para se discutir na Educação em Ciências sobre a natureza do experimento. O primeiro consiste em evidenciar a 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 representar 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 pronto e didaticamente demonstrado, 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 científica (LE), **que buscam estabilidade e sentido nos dados e nos fenômenos investigados, e se deslocam em ambientes de incertezas e decisões complexas**, “a máquina vai funcionar quando as pessoas interessadas estiverem convencidas” (Figura 1). Dessa forma, a análise sinaliza que o experimento só foi capaz de funcionar adequadamente quando LE (a pessoa interessada) se convenceu de que, agora, era capaz de fornecer uma explicação razoável: as anomalias encontradas não constituíam anomalias de fato, mas sim um comportamento intrínseco ao seu experimento. Logo, dependendo da forma com que se aborda a experimentação, pode-se trabalhar duas faces da ciência, completamente distintas uma da outra: uma ciência estanque, estável e isolada; ou uma ciência dinâmica, instável e extremamente social.

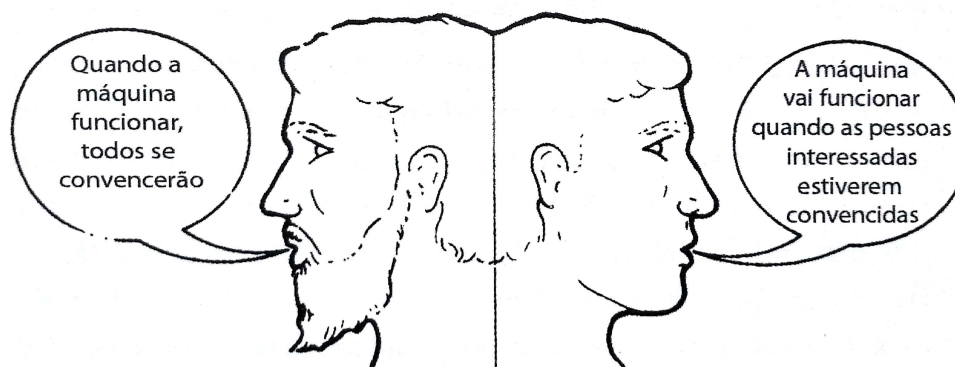


Figura 1: As duas faces de Jano Bifronte, representando a “ciência pronta” (à esquerda) e a ciência em construção (à direita) (Extraído de LATOUR, 2011, p. 15).

Toda essa riqueza de detalhes apresentada aqui some durante a escrita do relatório científico, o TCC, o que destaca o contraste entre as duas faces da ciência. Em seu relatório, LE apresenta uma caixa-preta completamente estável, capaz de demonstrar conceitos físicos elementares com poucos instantes. Uma descrição muito distante da análise apresentada aqui, na qual a relação do licenciando experimentador 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.

O segundo ponto a ser destacado permite fazer uma contraposição à ideia comum de que a experimentação permite “observar fenômenos isolados”. A análise permite sinalizar que fenômenos, como o da aceleração de corpos em planos inclinados, são socialmente construídos. Não no sentido restrito e excludente da palavra social – 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 um aspecto da realidade. Com efeito, 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.

O terceiro 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 explora 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. Esse tipo de trabalho permite 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.

Referências

BOXALL, J. **Arduino Workshop: a hand-on introduction with 65 projects**. San Francisco: No Starch Press, 2013.

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

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

_____. **Reagregando o social**: uma introdução à teoria do ator-rede. Salvador: EdUFBA; Bauru: EdUSC, 2012.

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

SCHAFFER, S. Trabalho com vidro. In.: COHEN, I. B.; WESTFALL, R. S. (Orgs.) **Newton**: textos, antecedentes, comentários. Rio de Janeiro: Contraponto/EdUERJ, 2002. p. 250-268.

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