

O PAPEL DA IMAGINAÇÃO NO PENSAMENTO CIENTÍFICO: ANÁLISE DA CRIAÇÃO CIENTÍFICA DE ESTUDANTES EM UMA ATIVIDADE DIDÁTICA SOBRE O ESPALHAMENTO DE RUTHERFORD⁺*

Ivã Gurgel
Maurício Pietrocola
Faculdade de Educação – USP
São Paulo – SP

Resumo

Esse trabalho tem como objetivo discutir o papel da Imaginação Científica no Ensino de Física. Para isto, partimos de uma reflexão epistemológica com o intuito de caracterizar o processo imaginativo na atividade científica. Isto foi realizado através de um estudo de referenciais filosóficos contemporâneos e com uma análise histórica do pensamento de Albert Einstein. A análise epistemológica termina com a elaboração de três etapas que caracterizam o processo imaginativo na ciência e constituem categorias de análise para o estudo da imaginação em salas de aula. No segundo momento da pesquisa, buscamos demonstrar que o processo de pensamento, definido através de referenciais teóricos, reflete-se nas reflexões de alunos do Ensino Médio durante a realização de uma atividade didática sobre a experiência de Rutherford.

Palavras-chave: *Imaginação. Einstein. Experiência de Rutherford.*

⁺ The role of scientific imagination in the Physics thought: an analysis of students' scientific creation in a didactic activity on Rutherford's experiment

^{*} *Recebido: outubro de 2010.*
Aceito: fevereiro de 2011.

Abstract

This work aims to discuss the role of Scientific Imagination in Physics Teaching. Accordingly, we start from an epistemological reflection in order to characterize the imaginative process in scientific activity. This was done through a study of contemporary philosophical references and a historical analysis on Albert Einstein's concepts. The epistemological analysis draws to a close with the elaboration of three steps that characterize the imaginative process in Science and include analysis categories for the study of imagination in the classroom. In the second part of the study, we demonstrate that the process of thought, defined by theoretical references, is expressed by the impressions of High School students during a teaching activity on Rutherford's experiment.

Keywords: *Imagination. Einstein. Rutherford's experience.*

I. Introdução

Os processos de produção do conhecimento científico vêm sendo objeto de pesquisa há muitos anos, tanto nas pesquisas em Educação Científica, quanto em suas disciplinas correlatas, como a Epistemologia, a Sociologia e as Ciências Cognitivas. Em decorrência dessas pesquisas, foi possível evidenciar algumas exigências/características do pensamento para a construção nas ciências. Seja no contexto dos cientistas, ou daqueles que visam se apropriar do conhecimento produzido por eles, o pensamento científico se diferencia do pensamento popular em vários aspectos. Por exemplo, é importante saber produzir conhecimentos novos a partir dos velhos, como bem destacado nas pesquisas sobre o papel das analogias formais e materiais no desenvolvimento de modelos científicos (SILVA, 2007; HESSE, 1970). O pensamento que visa apreender os fenômenos naturais precisa ser capaz de estabelecer relações causais nas explicações (LOCATELLI, 2006; VIENNOT, 2003). O uso da linguagem nesse processo não pode ser menosprezado, seja na escolha da forma adequada de organizar o conhecimento (YORE et. al., 2003), seja no uso da matemática como estruturante do pensamento (PIETROCOLA, 2002).

No entanto, somente muito recentemente, pesquisadores dessas diferentes áreas têm buscado questionar sistematicamente o papel da *imaginação* na constru-

ção do conhecimento científico (NERSESSIAN, 2008; BYRNE, 2007; PATY 2005; BODEN, 1999). Os modelos criados para explicar diversos fenômenos da realidade são representações que vão muito além do que poderíamos esperar de uma percepção sensorial da mesma (MATTHEWS, 2007). Isso implica admitir que os processos de abstração se desenvolvem por diversos caminhos, muitas vezes com a *criação* do objeto ou fenômeno a ser explicado, e não como decorrente da aplicação de um raciocínio limitado a uma lógica (indutiva ou dedutiva) clara ou evidente. A análise da bibliografia recente dessa área permite destacar uma série de questões relacionadas ao processo criativo da ciência, tais como:

- Quais são os principais meios/caminhos intelectuais de criação na ciência? (NERSESSIAN, 2008)

- A criação na ciência pode ser considerada um processo completamente desprovido de racionalidade? (PATY, 2005; 2001)

- Como os seres humanos criam alternativas à realidade? (BYRNE, 2007)

- O processo criativo tem as mesmas características em diferentes domínios, tais como as ciências, as artes, etc.? (MILLER, 2001, 1996; GARDNER, 1993)

- Quais são os determinantes sociais para a aceitação e o reconhecimento de ideias criativas na ciência? (BRANNIGAN, 1996)

Os resultados destes trabalhos parecem indicar que a atividade criativa, mediada pela imaginação, não é um processo que deve ser resumido a um “momento de inspiração” ou a uma “genialidade individual”. Os autores acima citados parecem considerar que a criação é um processo em que há o desenvolvimento de um pensamento vinculado tanto aos conteúdos conceituais e teóricos (NERSESSIAN, 2008; PATY, 2005), quanto aos objetivos relacionados a construções de explicações e representações alternativas do mundo exterior (BYRNE, 2007). Isso significa afirmar que o pensamento passa por etapas que visam tornar inteligíveis objetos ou fenômenos desconhecidos. No entanto, é importante destacar que a existência destas etapas não implica que elas sejam necessariamente contínuas e/ou puramente lógicas.

Buscou-se, com isso, caracterizar o papel da imaginação no pensamento científico, levando-se em conta tanto os atributos psicológicos/individuais, que têm importante participação na criação, quanto os atributos epistemológicos/coletivos, que estabelecem a necessidade de um saber coerente e minimamente consensual com o que se busca explicar. Contudo, o debate teórico sobre como considerar o papel da imaginação nesse processo de criação ainda está longe de ser concluído. Ainda há pouco consenso sobre como essa faceta do pensamento participa da atividade científica.

Do ponto de vista da educação científica, é bastante aceito que o objetivo educacional a ser alcançado é desenvolver nos alunos “... aptidões e hábitos de pensamento requeridos para construir conhecimentos da ciência” (YORE et. al., 2003, p. 690). No entanto, a necessidade de se desenvolver, ao mesmo tempo, capacidades individuais de criação e conhecimentos preestabelecidos acaba se apresentado como um aparente paradoxo para a maioria dos professores. Arruda e colaboradores apresentam este paradoxo da seguinte forma:

(...) a Educação em Ciências tem experimentado essa dicotomia com maior intensidade, pois a aprendizagem de um conhecimento bem estabelecido parece exigir competências ortogonais à criação de algo original; aquilo que no primeiro caso representaria excelência (a fidelidade na reprodução), no segundo seria sinônimo de mediocridade (ARRUDA et. al., 2004, p. 195).

Esse problema nos leva a uma questão em relação aos processos de ensino e aprendizagem, que pode ser expressa da seguinte forma: seria possível o desenvolvimento de situações de aprendizagem nas quais os alunos venham a utilizar capacidades individuais de criação de conhecimento e, ao mesmo tempo, suprir minimamente as exigências do pensamento científico? Para buscar responder a essa questão, primeiramente exploraremos aspectos filosóficos sobre o processo de criação na ciência, baseados na descrição que Albert Einstein faz, ele próprio, de sua prática científica. Em seguida, analisaremos uma atividade didática na qual os alunos são levados a investigar uma situação que se revela misteriosa e para a qual devem “criar” o objeto a ser explicado. Nesta parte do estudo, buscaremos identificar se o pensamento utilizado pelos alunos incorpora aspectos da criação científica como proposto por Einstein.

II. A imaginação na Ciência

Definir a imaginação não é tarefa fácil. Uma rápida consulta a sua origem etimológica nos remete ao verbo latino *imaginari*, que significa “formar quadro/desenho de algo”, ou simplesmente “representar”. No cotidiano, o termo *imaginar* é de uso amplo, podendo ter diferentes significados, dependendo dos contextos em que é utilizado. Pode significar um ideal, como na expressão “a profissão que só existe na minha imaginação”. Ou ainda, uma habilidade na solução de problemas, como na expressão “use sua imaginação e encontre um meio de sairmos daqui!”. No contexto da filosofia, as coisas não são mais simples! As definições assumem características diferentes, dependendo de autores e/ou do sistema teórico no qual se inserem. Uma definição encontrada na bibliografia recente para a noção

de imaginação é a *criação de objetos em um sistema simbólico* (GRANGER, 1998, p. 7). Nesta abordagem, concebe-se o pensamento humano como capaz de gerar representações mentais dos elementos, habilitando o homem a se relacionar com o mundo não apenas por meio dos sentidos, mas também das construções simbólicas que constrói (BRONOWSKI, 1998). Isso permite o desenvolvimento de um pensamento conceitual na medida em que é possível *operacionalizar* os elementos simbólicos. Operacionalizar significa, aqui, estabelecer um sistema de *relações*, de modo que, a partir da inserção dessas *imagens simbólicas* neste sistema, possa-se gerar, por meio da razão, afirmações sobre o mundo.

Contudo, a imaginação, para ser “científica”, não pode ser uma atividade puramente livre. Por mais que seja um ato bastante complexo e de grande subjetividade, por se relacionar com construção simbólica mental do indivíduo, não pode estar desvinculada dos compromissos e dos valores da ciência. As novas ideias, quando produzidas, devem ser condicionadas a uma construção racional, estrutura de pensamento fundamental na ciência. Nesse sentido, o filósofo Gilles-Gaston Granger, em uma importante obra sobre a razão nas ciências, irá considerar:

A razão evolui no sentido de que o ideal de ordem e o processo de construção dos novos conceitos variam ao longo da história. Assim progride a razão matemática que, longe de ser um corpo fechado de princípios, é imaginação regulada, mas criadora (GRANGER, 1985, p. 71).

Dessa forma, fica mais clara a presença desse duplo aspecto inerente à imaginação científica: se, por um lado, de forma geral, produz-se elementos simbólicos por meio da composição de representações presentes no imaginário do indivíduo criador (LAPLATINE; TRINDADE, 2003), por outro lado, as produções submetem-se às regras que regulam essa operação, baseadas na racionalidade. Isso faz com que a imaginação tenha um papel importante na ciência: ela é, por definição, a maneira com a qual o pensamento conceitual busca, criativamente, estabelecer regras organizadoras para a realidade.

Para aprofundar o entendimento do processo de criação no contexto científico, exploraremos os relatos autobiográficos de um cientista sobre o seu próprio trabalho. Este procedimento de pesquisa se baseia em escritos, palestras e entrevistas proferidas por cientistas visando o estabelecimento de padrões de pensamento. Ele foi utilizado em outras ocasiões por pensadores como Jean Piaget e Roland Garcia (1989) e Gaston Bachelard (1996, 1978), e é ainda muito utilizado nos dias de hoje por pesquisadores em Epistemologia, Ciências Cognitivas e Educação, tais como Nancy Nersessian (2008, 2002), Michel Paty (2005, 2001), Clive Sutton (1997a, 1997b), Arthur Miller (2001, 1996) e Howard Gardner (1999, 1993).

Dentre tantos cientistas que poderiam ter sua obra científica como objeto de estudo, escolhemos Albert Einstein por duas razões. Primeiramente sua obra científica permite afirmar que se trata de alguém que colocou a imaginação a serviço da criação de novas ideias. Einstein se interessou por questões relacionadas a problemas científicos importantes, com farta referência empírica (dados de experimentos de laboratório, observações astronômicas, etc.), mas que foram abordados a partir de idealizações distantes do cotidiano científico da época e que, portanto, exigiram um amplo trabalho de imaginação. As noções de espaço, tempo, massa e energia foram tratadas segundo uma abordagem epistemológica que não se preocupava em manter compromissos com as ideias até então em voga (PATY, 2001, 1993; MILLER, 1996). O segundo aspecto, talvez o mais importante, é o fato de que ele tenha documentado muitas de suas reflexões sobre seu trabalho científico, o que torna possível o estudo histórico-epistemológico do seu processo criativo. Boa parte de seus relatos são publicados em obras de síntese, entre elas, *Como Vejo o Mundo* e *Escritos da Maturidade*. Outras fontes que se configuram como importantes são: Notas Autobiográficas e suas correspondências já reunidas e publicadas. Entre elas destacamos as com Maurice Solovine e Michel Besso. Esse material permite a reconstrução parcial de sua forma de pensar, sobretudo quando se trata da proposição e estabelecimento de novas ideias.

Conta também a favor da escolha de Einstein, como cientista-filósofo para abordar a questão da imaginação criativa nas ciências, o fato de haver diversos autores, entre filósofos e historiadores, que se debruçaram sobre sua obra. Procuraremos, então, estabelecer o processo de criação de ideias de Einstein cotejando os seus relatos pessoais com os trabalhos de outros autores que trataram do mesmo tema. Dessa forma, tentaremos estabelecer o processo de criação e o papel atribuído à imaginação.

Primeiramente, é importante considerar a posição filosófica que Einstein estabelece em relação aos sistemas filosóficos elaborados desde a ciência moderna até sua época, notadamente o indutivismo, o empirismo e o racionalismo. Einstein tem consciência dos debates entre os partidários dessas correntes, realizando análises explícitas destas (EINSTEIN, 1981). Ele buscava deixar claro que suas concepções sobre o conhecimento diferem dos autores que o precederam, tanto os racionalistas, quanto os empiristas e indutivistas, principalmente quanto às possibilidades de fundamentarmos o pensamento em uma atividade mental livre. Ao considerar as posições empírico-indutivistas, ele declara que:

Penso que é preciso ainda superar esta posição. Os conceitos que aparecem em nosso pensamento e em nossas expressões lingüísticas são – do ponto de

vista lógico – puras criações do espírito e não podem provir indutivamente de experiências sensíveis. Isto não é tão simples de admitir porque unimos conceitos certos e ligações conceptuais (proposições) com as experiências sensíveis, tão profundamente habituados que perdemos a consciência do abismo lógico insuperável entre o mundo do sensível e do conceptual e hipotético (EINSTEIN, 1981, p. 48).

Apesar de propor um livre pensamento, Einstein buscava deixar claro que suas ideias diferem do idealismo (EINSTEIN, 1981), pois ele não abandonou uma postura realista, ao considerar que a ciência nos permite o acesso a uma realidade desconhecida (EINSTEIN, 2006). No entanto, essas afirmações seriam demasiado vagas se não analisarmos como ele concebia a própria natureza do pensar científico.

Einstein considera que a ciência é uma forma de pensamento que opera com as mesmas bases que o pensamento comum. No entanto, a ciência é *um processo refinado deste pensar* (EINSTEIN, 1994, p.65). Os conceitos da ciência também são extraídos da nossa relação com o mundo sensível (experiências sensoriais), que precisam ser organizadas em nossa mente para tornar o mundo compreensível. No entanto, para que o pensamento seja constituído, não basta que representações do mundo vindas dessas experiências se detenham em nossa memória, mesmo que nestas exista alguma sequência que ligue sua recorrência. Ele define o ato de pensar como a construção de conceitos, sendo estes os elementos de organização do pensamento (EINSTEIN, 1982). Essas construções não são apenas representações diretas do exterior, mas elementos que fazem dos dados da experiência um todo organizado.

O fato de a totalidade de nossas experiências sensoriais ser tal que é possível pô-las em ordem por meio do pensamento (operações com conceitos, a criação e uso de relações fundamentais definidas entre eles, e a coordenação das experiências sensoriais, com esses conceitos) é por si só assombroso, mas constitui algo que jamais compreenderemos. Podemos dizer que o “eterno mistério do mundo é sua compreensibilidade” (...) Ao falar aqui de compreensibilidade, estamos usando o termo em seu sentido mais modesto. Ele implica: a produção de algum tipo de ordem entre impressões sensoriais, sendo essa ordem produzida pela criação de conceitos gerais, pelas relações entre esses conceitos e por relações entre os conceitos e as experiências sensoriais, relações estas que são determinadas de todas as maneiras possíveis. É nesse sentido que o mundo de nossas experiências sensoriais é

compreensível. O fato dele ser compreensível é um milagre (EINSTEIN, 1994, p. 56).

Ao criar os primeiros conceitos que estão proximamente relacionados com o mundo sensível, o pensamento já começa a trabalhar com categorias de objetos e não mais com os próprios objetos do mundo sensível. Einstein chama esses conceitos de *conceitos primários* (EINSTEIN, 1994). As categorias de objetos são a primeira fase de criação de conceitos sobre o mundo. No entanto, eles são, além de arbitrários, insuficientes do ponto de vista lógico, pois pouco se relacionam racionalmente uns com os outros (EINSTEIN, 1994). O processo de criação científica não pára por aí, onde provavelmente estacionaria o pensamento comum. Ele continua com a proposição de conceitos mais abstratos, designados por *conceitos secundários* (EINSTEIN, 1994). Esses conceitos têm a vantagem de melhor se relacionar por meio da lógica (EINSTEIN, 1982). Se ganham em rigor lógico, perdem, pouco a pouco, sua relação com as representações mais próximas da realidade e, com isso, parte de seu significado original. Tornam-se abstrações que não equivalem diretamente a nenhuma parcela do mundo percebido pelos sentidos. Reforçando a empreitada racional da ciência, Einstein afirma que os conceitos primários devem ser deduzidos logicamente dos conceitos secundários, garantindo correlação e não arbitrariedade dos segundos em relação ao mundo (EINSTEIN, 1994). O valor das relações lógicas está em reduzir a totalidade da experiência a um todo compreensível em termos de poucos conceitos (EINSTEIN, 1982). Isso confere unidade a uma diversidade de percepções que pareciam, à primeira vista, desconexas. Para o cientista, a simplicidade lógica deve ser critério de cientificidade, pois nela se encontra a possibilidade de tornar o mundo inteligível a nós, pois quanto mais simples a lógica de relações, mais facilmente se poderá organizar um número grande de dados sensoriais e, assim, tornar o todo uma unidade compreensível. No entanto, a relação dos conceitos operados pela lógica com o mundo sensível não é simples. Einstein alerta para a impossibilidade de relacionarmos logicamente os conceitos fundamentais com o mundo experimental. (EINSTEIN, 1992). Esses conceitos, os secundários, são fruto de uma relação arbitrariamente construída, onde o hábito, a herança sociogenética, os valores e os projetos de conhecimento acabam tendo papel decisivo. Por isso não pode haver relação lógica entre eles e o mundo (MILLER, 1996; MERLEAU-PONTY, 1993).

Um adepto das teorias da abstração ou indução poderia chamar nossas camadas [conceitos primários e secundários] de “graus de abstração”; não considero justificável, porém, esconder o quanto os conceitos são logicamente independentes das experiências sensoriais (EINSTEIN, 1994, p. 68).

A relação entre conceitos e o mundo sensível é um aspecto importante no pensamento filosófico einsteiniano. Sua posição de não haver uma relação lógica entre esses elementos e a experiência significa que não podemos relacioná-los por meio de regras claras e objetivas. Ele irá considerar que a relação entre o “mundo racional” e o “mundo sensorial” é feita por meio da intuição, mesmo que a intuição não possa ser admitida como uma categoria objetiva ou “científica”.

A conexão dos conceitos básicos do pensamento comum com os complexos de experiências sensoriais só pode ser compreendida de modo intuitivo, não se prestando a uma determinação cientificamente lógica (EINSTEIN, 1994, p. 66)

Um dos elementos mais importantes da cientificidade, como já apontado anteriormente, é a coerência racional que os conceitos apresentam entre si quando operam internamente ao pensamento na forma de teorias. O estabelecimento de uma teoria se baseia, então, na existência de uma lógica científica, que se traduz por regras *internas ao pensamento* (EINSTEIN, 1982, p.22). Einstein aponta que os estabelecimentos dessas regras são mutáveis, contudo, é a existência delas que torna a ciência possível.

O essencial é o objetivo de representar a multiplicidade de conceitos e proposições próximos da experiência como teoremas, logicamente deduzidos e pertencentes a uma base, o mais estrita possível, de conceitos e relações fundamentais, que possam, eles próprios, ser livremente escolhidos (axiomas). Essa liberdade de escolha, porém, é de um tipo especial; não é nada similar à de um escritor de ficção. Assemelha-se, antes, à de um homem empenhado em resolver uma charada bem formulada. Ele pode, sem dúvida, propor qualquer palavra como solução; mas há apenas uma que resolve realmente a charada em todas as suas formas. É um efeito da fé que a natureza – tal como é perceptível a nossos cinco sentidos – assume o caráter de uma charada igualmente bem construída (EINSTEIN, 1994, p. 68).

A “resolução de charadas” é algo fundamental na concepção de imaginação de Einstein. Ele afirma que nosso pensamento é um jogo livre de conceitos (EINSTEIN, 1982, p.14), havendo uma distinção entre a atividade sensorial das impressões e a sua produção. Para ele, o ato de “pensar” põe em jogo, além das imagens resultantes das impressões dos sentidos, os conceitos. No entanto, a livre criação considerada por Einstein é de um tipo especial, pois o autor considera que somente uma resposta serve como solução. Com isso, a imaginação adquire um aspecto objetivo, pois, apesar de o pensamento operar sem restrições cognitivas,

ele é guiado pela busca de uma resposta que se torna a chave para a apreensão de um conjunto de fenômenos.

A livre criação de conceitos passa a ter um significado especial quando Einstein considera que é somente através dela que nos orientamos na realidade. Assim, o realismo proclamado por Einstein é, na verdade, um abandono do realismo clássico, que busca uma correspondência direta entre construção simbólica e realidade, em prol de uma visão em que o conhecimento não é uma cópia da realidade, mas sim um caminho de acesso a ela.

É isto que queremos dizer quando associamos uma “existência real” ao objeto corpóreo. A legitimidade desta associação repousa unicamente sobre o fato de que, com o auxílio de tais conceitos e das relações mentalmente estabelecidas entre eles, podemos nos orientar por entre o emaranhado de sensações. É por este motivo que estes conceitos e relações – embora livres definições do pensamento – parecem-nos mais firmes e imutáveis que a experiência sensível única, cujo caráter nunca poderemos com segurança deixar de atribuir à ilusão ou a alucinação. Por outro lado, conceitos e relações, em particular o estabelecimento de objetos reais ou mesmo de um “mundo real”, só são justificáveis na medida em que estão associados a experiências sensíveis entre as quais criam associações mentais (EINSTEIN, 2006, p.9)

Com isso, o que garante a ontologia dos conceitos não é a correspondência direta com a realidade, mas o fato de as ideias elaboradas nos orientarem corretamente nela. Em uma analogia simples, poderíamos afirmar que os conceitos são como um “mapa mental”, que nos permite caminhar sobre uma realidade que permanecerá oculta e escura aos nossos olhos. O sucesso está em que, apesar de este mapa ser algo bem diferente da realidade, as novas teorias sempre estabelecem caminhos precisos e bem delimitados. Nesse sentido, ele irá dar um papel especial à matemática, pois ela estrutura e direciona o acesso à realidade (EINSTEIN, 2006, 2005). Quando a imaginação se submete às suas proposições, as organizações criadas por ela podem ser legitimadas como conhecimentos válidos (EINSTEIN, 1981).

Um relato importante no contexto da criação científica é a carta escrita ao amigo Maurice Solovine, em 7 de maio de 1952. Nela, Einstein detalha, com auxílio de um diagrama, seu entendimento sobre o processo de criação científica da seguinte maneira:

(...)Eu vejo as coisas, esquematicamente, da seguinte forma:

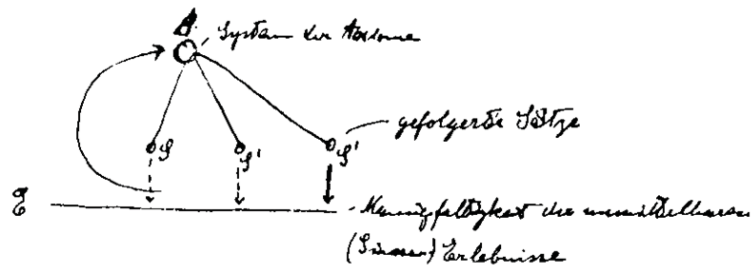


Fig. 1 – Representação do processo de criação feito por Einstein.

A: Sistemas de Axiomas; S: Proposições Deduzidas;

E: Variedade das Experiências Imediatas.

As E (experiências imediatas) nos são dadas. A são os axiomas, de onde nós tiramos as conclusões. Psicologicamente os A repousam sobre as E. Mas não existe nenhum caminho lógico conduzindo das E aos A, mas somente uma conexão intuitiva (psicológica), que é sempre “em direção a uma nova ordem”. A partir dos A, são deduzidos por via lógica as afirmações particulares S, que podem pretender a ser exatas. Os S são colocados em relação com as E (verificação pela experiência). Este procedimento, a ser visto de perto, pertence igualmente à esfera da extralógica (intuitiva), porque a relação entre as noções apresentadas em S e as experiências imediatas E não são de natureza lógica. Mas essa relação entre os S e as E, é (pragmaticamente) muito menos incerta que a relação entre as A e as E. (Por exemplo, a noção cachorro e as experiências imediatas correspondentes.) Se uma tal correspondência não pudesse ser obtida com uma grande segurança (se bem que ela não seja logicamente mantida), a maquinaria lógica seria sem nenhum valor para a “compreensão da realidade” (exemplo, a teologia). A quinta-essência de tudo isso é a conexão eternamente problemática entre o mundo das ideias e aquele que pode ser experimentado (experiências imediatas dos sentidos)(...) (EINSTEIN, 1956, p.43)

Devemos notar, aqui, o salto proposto por Einstein entre o plano da experiência sensível para o plano das premissas. Essa é a criação subjetiva do pensamento, em que ele pode representar sinteticamente as ideias (HOLTON, 1979).

Porque o criador tem esta característica: as produções de sua imaginação se impõem a ele, tão indispensáveis, tão naturais, que não pode considerá-las como imagem do espírito, mas as conhece como realidade evidentes (EINSTEIN, 1994, p. 145)

Neste momento, as ideias se tornam organizadas pelo pensamento e as experiências inicialmente desconexas são apreendidas conjuntamente, formando uma totalidade única. Essa é uma visão imediata, isto é, manifesta-se na consciência que a resposta foi obtida e que a clareza de seu conteúdo vem em um momento marcado no tempo do sujeito. Pode-se reconstituir logicamente as razões, mas a certeza da boa resposta repousa nas experiências anteriores do pensamento (PATY, 2001). Nesse caso, podemos afirmar que, de acordo com a estrutura de pensamento proposta por Einstein, após a criação de um conceito secundário (com maior grau de abstração), é possível, a partir dele, deduzir e ter uma nova compreensão dos conceitos primários que o pensamento havia extraído diretamente da experiência sensorial.

Outro relato igualmente importante é aquele no qual Einstein faz explicações sobre seu pensamento em uma carta ao matemático e psicólogo Jaques Hadamard. De uma maneira bastante inovadora para o início do século XX, Hadamard busca compreender o processo de invenção no domínio da matemática. Ele solicita a Einstein que descreva como seu pensamento funciona. Em sua resposta, Einstein escreverá sobre como opera seu pensamento, principalmente em atos de compreensão do novo.

As palavras e a linguagem, escritas e faladas, não parecem representar o menor papel no mecanismo de meu pensamento. As entidades psicológicas que servem de elemento ao pensamento são certos signos ou umas imagens mais ou menos claras, que podem “à vontade” ser reproduzidas e combinadas. Existe naturalmente uma certa relação entre esses elementos e os conceitos lógicos em jogo. É igualmente claro que o desejo de chegar finalmente a esses conceitos logicamente ligados é a base emocional desse jogo muito vago, sobre os elementos das quais eu falei. Mas do ponto de vista psicológico, esse jogo combinatório parece ser uma característica essencial do pensamento produtor – haveria alguma passagem anterior à construção lógica em palavras ou outros gêneros de signos que nós não possamos comunicar a outro. Os elementos que eu venho de mencionar são, no meu caso, de tipo visual e, por vezes, motor. As palavras ou outros signos convencionais só vêm a ser procurados com dificuldade em um estado secundário, onde o jogo de associações em questão é suficientemente estabelecido e pode ser reproduzido à vontade. Após isso que acabei de dizer, o jogo sobre os elementos mencionados visa ser análogo a certas conexões lógicas que nós procuramos (EINSTEIN, apud HADAMARD, 1959, p.82-83, tradução livre, grifos nossos)

Nesta carta, é interessante notar o papel atribuído ao pensamento não-conceitual como prévio à conceitualização, em que imagens ou signos mais gerais são a base do entendimento que buscará, em um segundo momento, uma formulação lógica e estável ancorada na linguagem. Aqui, também, é interessante notar o papel que Einstein dá à vontade emocional necessária ao processo de construção das ideias, vontade esta que consiste em obter um entendimento individual de uma realidade que se apresenta fragmentada.

Einstein apresenta uma visão bastante nova sobre a criação científica, mesmo para os dias de hoje. O elemento mais importante de sua filosofia é o de conseguir conciliar as dimensões da racionalidade e da imaginação no trabalho de criação na ciência. Ao mesmo tempo que fica evidente a importância da liberdade de pensamento e de sua dimensão subjetiva na construção do conhecimento (em que há a busca de uma compreensão individual e intuitiva do mundo), fica clara, também, a importância dos valores lógicos-rationais (em que há necessidade de conhecimento coerente que possa ser compartilhado com uma comunidade). Além disso, o objetivo da ciência como uma forma de apreensão do real não é abandonado. Mesmo admitindo que o pensamento abstrato não tenha uma correspondência direta com a realidade a ser compreendida, este não deixa de ser a maneira mais fiel que temos de lidar com ela. Com isto, o desenvolvimento do pensamento está aberto a etapas de diferentes naturezas, confrontando-se de diversas maneiras com a realidade.

As reflexões apresentadas sobre o pensamento de Einstein fornecem um *quadro sintético* sobre o papel da imaginação como ato criador do pensamento científico. É importante deixar claro que, na perspectiva einsteiniana da ciência, a imaginação não se restringe a uma mera reprodução mental de dados sensoriais. Nessa concepção, a imaginação deve ser considerada como ato criador que busca apreender a realidade exterior extrapolando a mera percepção. Na exposição que Einstein faz de seu próprio processo criativo, verificamos o cuidado em não recair a um idealismo, isto é, na crença da capacidade da mente em produzir, por si mesma, esquemas conceituais sem referência forte ao mundo exterior. Dessa maneira, ele apresenta um quadro epistemológico diferenciado, onde a imaginação tem papel fundamental. O primeiro ponto a ser destacado nesse quadro é que a imaginação, mesmo que concebida como uma atividade de criação livre, não pode transcender a interação do indivíduo com a realidade que busca explicar. Nos seus termos, a “charada sustentada pela fé” pertence ao mundo e não à mente. A mente, como que investida de uma empreitada emocional, tem como meta resolvê-la. Assim, pode-se estabelecer que a imaginação deve partir de uma relação do sujeito com o exterior, sendo que as primeiras percepções mentais, que ele adquire através

da intuição, formam a base de representações imaginárias sobre as quais o pensamento operará. Ainda é importante salientar que essas representações não se resumem apenas a elementos conceituais. Elas integram também imagens e signos de maneira mais amplas que não advêm apenas de uma interação imediata com o exterior, mas também de percepções semelhantes oriundas da vivência do indivíduo que, no entanto, ainda não estão organizadas em sua mente.

Um segundo ponto importante e fundamental para a caracterização do ato criativo é a vinculação das representações mentais imaginadas com uma estrutura que dará significado à totalidade fragmentada das percepções. Nesse processo, a criação produzida inicialmente pela imaginação é submetida à racionalidade na busca de uma apreensão sintética da realidade tal qual se apresenta à nossa mente. Para Einstein, este é o momento do “salto criativo”, em que o indivíduo torna a realidade, até então obscura e desconexa, inteligível.

O último destaque fica por conta da possibilidade de aferição. Após formar uma representação conceitual completa da realidade exterior, as consequências deduzidas a partir dessa representação podem ser confrontadas com informações advindas do mundo exterior. O sucesso nessa empreitada habilita a criação conceitual a se tornar guia para a interpretação dessa realidade. Em outras palavras, trata-se de verificar se suas ideias refletem, em alguma medida, percepções do mundo exterior.

Para os objetivos pretendidos neste trabalho, é importante oferecer algum tipo de interpretação esquemática do processo criativo sugerido por Einstein. Isso porque pretendemos avaliar o uso da imaginação na educação científica. Mesmo correndo o risco de reducionismo, sugerimos que a epistemologia de Einstein inclui três momentos ou etapas marcantes, que podem ser sumarizados da seguinte forma:

Etapa 1 – Percepção Intuitiva da Realidade: Nesta etapa, o pensamento estabelece uma interação multifaceta com a realidade a ser compreendida, fazendo uso de acervo de conhecimento do indivíduo. Essa interação depende mais de uma percepção subjetiva (como indivíduo singular) que pode fazer referência a outras percepções e representações previamente formuladas em sua mente, do que a busca de elementos objetivos presentes na realidade.

Etapa 2 – Salto Criativo que liga as Percepções aos Conhecimentos Gerais: Nesta etapa, o pensamento vincula a diversidade percebida com um corpo de conhecimentos gerais que podem ser axiomas, leis, princípios, etc. Estes podem ser inéditos, como ocorre numa “descoberta” científica, ou podem ser reconstruções, no caso de uma aprendizagem póstuma, como ocorre, por exemplo, em ambi-

ente escolar. Neste caso, as percepções do indivíduo são, pela primeira vez, organizadas pelo corpo de conhecimentos a ser aprendido. No esquema proposto por Einstein a Solovine, esta etapa corresponderia à flecha que parte das experiências **E** aos axiomas **A**.

Etapa 3 – Verificações: No qual o pensamento, a partir do conhecimento construído, verifica se a variedade de experiências imediatas **E** se encontra organizada. Para isso, confronta as proposições **S** deduzidas, isto é, as possíveis conclusões que o conhecimento criado permite estabelecer com a realidade percebida.

Consideramos que esses três momentos fornecem um quadro geral do pensamento criativo, evidenciando o papel fundamental da Imaginação Científica. Finalmente, é importante destacar que essa categorização do processo de imaginação, como qualquer outra categorização, é reducionista e contém certa dose de arbitrariedade. No entanto, ressaltamos que ela é necessária para que se torne possível o estudo sistemático de situações didáticas.

A seguir, utilizaremos esse quadro geral para analisar uma atividade de ensino-aprendizagem onde o uso da imaginação é requisito fundamental. A atividade envolve o estudo dos meios utilizados pela ciência para determinação dos modelos atômicos.

III. Episódio de ensino e análise de dados

A atividade didática analisada intitula-se “Descoberta do Núcleo Atômico”, e se baseia na experiência desenvolvida por Rutherford para evidenciar a existência do núcleo no átomo. Ela faz parte de uma sequência de ensino-aprendizagem constituída por atividades que discutem as ordens de grandezas vinculadas ao mundo atômico e subatômico, desde os primeiros modelos de átomos elaborados no início do século XX. Esta sequência de atividades é a segunda de um curso de Introdução às Partículas Elementares, destinado a estudantes do terceiro ano de Física do Ensino Médio. O curso foi desenvolvido por Maxwell da Purificação Siqueira, no contexto de sua dissertação de mestrado, orientada por um dos autores deste artigo. O conjunto completo de atividades pode ser obtido em Siqueira (2006).

Na experiência de Rutherford de 1908, um feixe colimado de partículas alfa, obtido através de uma amostra radioativa, incidia sobre uma folha muito fina de átomos de ouro. Analisando as trajetórias dessas partículas, após colidirem com a folha de ouro, Rutherford deduziu, três anos mais tarde, que deveria existir um

núcleo atômico carregado positivamente e elétrons em uma região exterior ao mesmo (SIQUEIRA, 2006).

A atividade de ensino propõe uma versão analógica da experiência de Rutherford. No lugar de partículas alfa, bolinhas de gude; no lugar da folha de ouro, um alvo escondido sob uma placa de madeira. O objetivo da atividade é fazer com que os alunos vivenciem os processos de investigação do mundo subatômico. Na situação didática, os alunos devem descobrir o formato do alvo que se encontra escondido sob a placa, lançando bolinhas.

Para a realização da atividade, grupos de 4 ou 5 alunos já recebem montado o material da atividade que consiste de uma placa de madeira de aproximadamente 1 m^2 , na qual estão fixados pedaços de isopor na forma de uma figura geométrica, regular ou não (Fig. 2). Além disso, recebem uma quantidade de bolinhas de vidro, cujo diâmetro permite que passem sob a placa e atinjam o alvo (isopor). Atirando as pequenas bolinhas sobre o alvo, os alunos deverão inferir a forma do objeto pela análise das trajetórias das mesmas. Através desse processo, eles deverão fazer uma representação (desenho) do objeto invisível. Para a solução não ser demasiado simples, as formas são compostas, como triângulos colados simetricamente, ou semicírculos colados paralelamente. As duas figuras abaixo são exemplos de “alvos” ocultos usados na atividade.



Fig. 2: Alguns exemplos de alvos utilizados na atividade.

A montagem fica alojada sobre uma mesa ou no chão, de modo que os alunos não olhem com facilidade por baixo da placa. Nas versões atuais dessa atividade, a placa e a figura de isopor colada abaixo são pintadas de preto, para dificultar a visão direta do alvo.

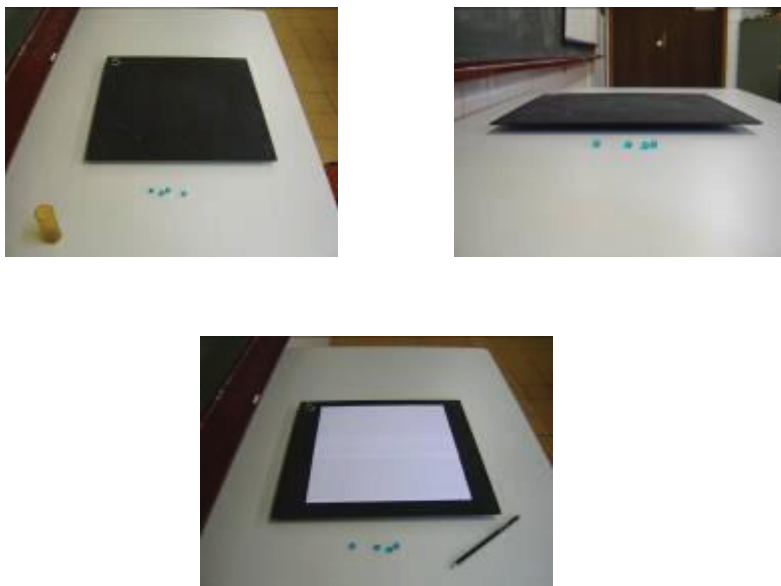


Fig. 3: Placas dispostas na posição indicada para a realização da atividade.

Para a realização da atividade, três tarefas são solicitadas aos alunos:

i) Atirar, uma a uma, as bolinhas sobre o alvo abaixo da placa e acompanhar seu movimento após a colisão.

ii) Marcar em uma folha colocada sobre a placa a trajetória de cada bolinha, antes e depois de entrar por baixo dela.

iii) Fazer uma representação hipotética da figura escondida abaixo da placa.

É importante destacar que a atividade proposta tem por objetivo levar o aluno a:

i) ter a curiosidade estimulada, pois fica claro, durante a execução, que a solução depende fundamentalmente de sua capacidade de inventar formas que expliquem as observações feitas por eles.

ii) formular hipóteses livremente, visto que não há nenhuma indicação direta de como determinar o formato do objeto sob a placa.

iii) fornecer dados à percepção, tanto na partida da investigação, quando acompanha o comportamento inicial das bolinhas; quanto na verificação das “deduções” tiradas a partir das hipóteses que faz sobre a forma do objeto escondido.

A atividade foi elaborada para apresentar o contexto original do experimento que permitiu a proposição do modelo atômico de Rutherford, com destaque para os meios e os procedimentos utilizados para inferir a estrutura interna da matéria. Vale destacar que em nenhum momento da atividade é dito aos estudantes que se trata de um exercício de imaginação ou que a capacidade imaginativa será avaliada. Tanto na construção como na execução da atividade, nem o autor do material, nem o professor da classe tinham interesse em investigar a imaginação científica, mas tão simplesmente de fornecer um meio de estudo sobre o núcleo atômico. Tanto o material da atividade, como a fita gravada foram produzidos dentro do contexto de um projeto que visava a introdução de Física Moderna no Ensino Médio. O interesse pelo estudo da imaginação foi posterior a esse projeto, assim como a decisão de analisar esta atividade.

A atividade foi gravada em vídeo e áudio. Uma pessoa externa à classe ficou responsável pela filmagem. Havia apenas uma câmera para captação e dois grupos foram escolhidos aleatoriamente, tendo seu trabalho acompanhado, tornando-os o foco de filmagem. Como os dois grupos estavam próximos, na mesma bancada, e os momentos de discussão não eram constantes, foi possível que o operador da câmera buscasse obter as falas de alunos de ambos os grupos. Um elemento importante é que todas as aulas da turma eram filmadas desde o início das atividades escolares. Isso fez com que, durante a aula analisada, os alunos já estivessem habituados com a presença da filmadora na sala de aula e esta não pareceu interferir em seus comportamentos, como revelaram posteriormente as gravações.

As gravações não formam *per se* um corpo de dados a ser estudado. Para isto, é necessário definir as situações em que os acontecimentos relevantes ocorreram (CARVALHO, 2005; ERICKSON, 1998). Para a análise foram selecionados “episódios de ensino”, isto é, “momentos extraídos de uma aula, onde fica evidente uma situação que queremos investigar” (CARVALHO, 2005, p. 35, tradução livre).

Nas transcrições buscou-se garantir total fidelidade à fala dos alunos e, também, atentar aos gestos e às entonações, pois estes podem revelar elementos importantes para a análise (CARVALHO, 2005). Fizemos pequenas correções de português nas transcrições, de modo a deixar a leitura do texto mais fluente. Tomamos o cuidado de assim fazê-lo apenas quando percebemos que isso não alterava o sentido da fala nem atrapalhava a interpretação das entonações do locutor.

Para a apresentação na transcrição, cada episódio foi dividido em turnos, isto é, como é comum que mais de uma pessoa fale num episódio, ou mesmo uma fala seja interrompida várias vezes, dividimos o texto nestas interrupções. A cada início de enunciação, um novo turno é iniciado (GALEMBECK, 1997). Com isso, os dados serão apresentados da seguinte forma:

Tempo	Turno	Participante: Fala do Participante (1)	(1) Gestos ou Acontecimentos Relevantes
-------	-------	---	---

Na sequência não é diferenciado o grupo ao qual pertence o aluno que enuncia. No entanto, sempre que há um debate com proposição e resposta, que configura um episódio, podemos garantir que são alunos do mesmo grupo, pois em nenhum momento houve debates entre alunos de diferentes grupos.

O item da primeira coluna indica o tempo percorrido desde o início da aula, quando determinado turno se inicia. Para a transcrição, utilizamos o relógio do aparelho de DVD como referência. A segunda coluna indica o turno que a fala aconteceu, sendo numerados a partir de 1, no início da aula. A terceira coluna indica em negrito quem está enunciando e após, em letra normal, a fala do participante. Finalmente, na quarta coluna, apresentamos possíveis gestos ou acontecimentos que podem esclarecer a fala transcrita na coluna três. Vale ainda notar que, quando um gesto ocorre em um determinado momento da fala, inserimos a notação entre parênteses (1), para indicar o momento da ocorrência do gesto. Como podem ocorrer mais de um acontecimento durante a mesma fala, estes também são numerados. Nas transcrições, utilizamos as normas definidas por Preti (1997). Esclarecemos que o uso de negrito nas transcrições é um destaque feito pelos pesquisadores para ressaltar algo relevante na fala.

Em alguns momentos da aula analisada, a gravação perde completamente o áudio, fazendo com que algumas falas sejam inaudíveis. Isso não prejudica o sentido total da análise e veremos que o número de falas perdidas é pequeno.

A aula analisada foi realizada na Escola Estadual Miguel Munhoz Filho, localizada na região central da cidade de São Paulo, em setembro de 2005. A turma contava com cerca de 20 alunos e teve duração de 45 minutos. O Professor iniciou a aula com uma apresentação da atividade baseada na experiência de Rutherford, que durou cerca de 15 minutos. Após isso, durante aproximadamente 25 minutos, os alunos, divididos em 5 grupos, realizaram a atividade.

A reação inicial dos alunos foi muito favorável, todos os grupos colocando-se ao trabalho em poucos minutos. Uma das primeiras manifestações registradas em um dos grupos é a que segue:

20:06	25	Aluno 3: Presta a atenção... Imagine que esse quadrado... Imagine que a tábua está assim (1)	(1) Aluno faz um giro de 45 graus na placa de madeira para indicar que a figura abaixo dela deve estar naquela posição.
-------	----	---	---

O extrato indica que os alunos percebem de imediato (cerca de cinco minutos após o início da atividade) a necessidade de uso da imaginação para a solução do enigma.

Durante cerca de mais de dez minutos os alunos atiram as bolinhas incessantemente para verificar as possíveis trajetórias destas. Esse processo somente permite que eles tenham inferências indiretas do objeto que procuram representar. Eles percebem a necessidade de se atirar as bolinhas diversas vezes para formar uma representação do objeto escondido abaixo da placa. A sequência de transcrições, retirada dos primeiros instantes de realização da atividade, parece indicar a primeira etapa, *a percepção intuitiva da realidade*. Vejamos nos extratos abaixo que os alunos “...partem de uma interação multifaceta ... com a realidade a ser compreendida” .

18:15	2	Aluno 1: Então tá, deixa eu ver bem onde que ta ((Inaudível))	Alunos do grupo interrompem.
18:23	3	Aluno 1: Aqui ela passa direto aqui.	
18:31	4	Aluno 2: Vai anotando.	
18:34	5	Aluno 1: Oh (1)	(1) Aluno 1 mostra o caminho percorrido pela bolinha quando ele joga
18:38	6	((Inaudível))	Alunos atiram várias bolinhas em sequência, verificando os caminhos percorridos.
18:52	7	Aluno 3: Ele bate aqui (1)	(1) Um aluno, após jogar a bolinha muitas vezes, verifica que há um ponto determinado em que a bolinha é desviada. O aluno 4 aponta na placa onde ela acha que a bolinha bate.
19:00	8	Aluno 3: Joga mais. Joga aqui (1)	(1) Aluno 3 aponta para parte lateral da placa.
19:02	9	((Inaudível))	Aluno 4 joga a bolinha
19:05	10	Aluno 3: Viu, pegou nessa aqui.	

A fala no turno 3 é interessante porque mostra o momento em que, após o aluno jogar diversas vezes a bolinha, este começa a buscar uma ordem em suas impressões, pois quer verificar, da maneira mais precisa possível, o caminho percorrido por cada bolinha.

Durante esse processo, eles começam a perceber que nem todas as regiões do alvo se comportam da mesma maneira e que existem pontos particulares nos quais um “evento” acontece em relação à trajetória das bolinhas. Isso fica claro no turno 7 e é algo importante pois, a partir dessas constatações, eles poderão criar a imagem de um objeto mais rica em detalhes. Além disso, no turno 8, o aluno mostra a necessidade de refinamento de suas percepções, passando a atirar as bolinhas em regiões muito bem determinadas.

A necessidade de refinamento é reforçada pela fala do professor, quando este discute com o grupo:

22:57	34	Professor: Gente, deixa eu dar uma sugestão pra vocês, ó. Já que vocês estão jogando e a bolinha ta voltando. Porque vocês não marcam aqui (1), de leve, como é que ela ta indo, como é que ela ta voltando. Porque depois de vocês fazerem vários testes, vocês vão ter ideia de como é a superfície.... se você joga várias vezes, você sabe como é.	(1) Professor aponta para o papel que os alunos colocaram em cima da tábua.
-------	----	--	---

Após a indicação do professor é interessante notar como os alunos passam a ser cada vez mais cuidadosos com seus “dados” de percepção. Isso fica claro na sequência que vem após a fala do professor:

23:46	37	((Inaudível))	Professor dá orientação para os alunos marcarem no papel as trajetórias feitas pela bolinha.
24:20	38	((Inaudível))	Alunos atiram as bolinhas e fazem as marcações na folha.
24:56	39	Aluno 5: Escreve aí, vai e volta nas laterais (1)	(1) Alunos verificam que, quando jogam a bolinha em uma trajetória com 45 graus em relação à lateral da placa, ela bate e volta na mesma linha, verificando que ali é uma das laterais do quadrado abaixo do quadro.

25:10	40	((Inaudível))	Aluno 3 ajusta a posição da folha que está em cima da tábua para ela ficar na posição exata em relação ao quadrado que eles imaginam estar abaixo.
25:48	41	((Inaudível))	Alunos começar a atirar as bolinhas do lado oposto para verificar se o efeito é o mesmo em relação às observações anteriores.
27:01	42	Aluno 3: Então, vou jogar desse lado (1) Então, quer dizer que está nesta posição (2)	(1) Aluno aponta para segunda lateral da placa de madeira. (2) Aluno mostra a posição da folha em cima da placa indicando estar correta.

Neste momento da aula, a câmera passa a focalizar o grupo que trabalha ao lado. Neste momento este grupo já está numa fase mais avançada da atividade, mas é muito interessante ver que eles ainda realizam um processo muito semelhante ao que o primeiro grupo passou, isto é, tentando marcar bem as trajetórias das bolinhas e procurando verificar a existência de detalhes no objeto. Temos uma sequência que registra isso:

27:40	44	Aluno 6: Aqui ela sempre passa (1)	Aluno 7 indica que no centro da placa há uma parte vazia pela qual a bolinha passa sem colidir com nada
27:53	45	((Inaudível))	Alunos marcam uma série de trajetórias para mostrar em qual ponto a bolinha entra embaixo da placa e em qual ela sai.
29:12	46	Aluno 8: O que dá pra entender é que ela é aberta aqui no meio, é só fechada em algumas partes, porque ela passa por um lado, passa por meio e tipo, ela bate em algumas partes.	
29:18	47	Aluno 7: As partes que ela vai reto é sempre na beirada.	
29:25	48	Aluno 7: É assim ó (1) quando vai no meio.... só nestas partes ela volta.	Aluno indica com a mão quais as regiões ele considera haver as partes em que há a figura, isto é, não são vazadas.
29:31	49	Aluno 8: Mas tem uma parte aberta.	

29:53	50	((Inaudível))	Alunos atiram as bolinhas para verificar as regiões em que há preenchimento.
-------	----	---------------	--

Sobre essa primeira etapa de resolução temos poucas outras falas representativas sobre a forma como os alunos constituíram suas percepções. Vale mais a análise do modo geral como eles realizaram a atividade: inicialmente, buscando fazer todos os testes possíveis com as bolinhas; depois, marcando as trajetórias de várias maneiras. Essa postura indica a **busca, como afirmamos na seção 2, por uma pluralidade de percepções visando constituir a figura do objeto que eles querem representar**. Além disso, é interessante notar que os alunos passam a querer “refinar” suas percepções, mesmo que fique claro que eles não terão um contato direto com a figura a ser representada.

A segunda etapa, o *salto criativo*, é, como afirmamos anteriormente, quando o pensamento vincula a diversidade percebida com um corpo de conhecimentos gerais, que podem ser ideias que os alunos já conhecem de sua vivência escolar anterior. Esta é uma etapa de difícil identificação por meio da fala dos alunos. O que observamos é a busca de vincular as percepções obtidas na etapa 1 às formas geométricas conhecidas:

19:26	19	Aluno 3: É um quadrado aqui assim ó (1)	(1) Aluno 3 faz um movimento com a mão indicando o formato de um quadrado e sua posição abaixo da placa.
19:29	20	((Inaudível))	Alunos continuam jogando as bolinhas.
19:34	21	Aluno 3: Quer ver, ó, ó... Tá aqui né (1) Imagine, ó, Imagine... (2)	(1) Aluno 3 aponta a placa (2) Aluno 3 é interrompido.
20:01	22	Aluno 5: É um quadrado assim, ó (1)	(1) Aluno 5 faz um movimento com a mão semelhante ao do aluno 3 no turno 19.
20:03	23	Aluno 3: Então! (1)	(1) Aluno 3 é enfático.
20:04	24	Aluno 4: É isso que a gente tá falando.	

A espontaneidade da fala, que é difícil de ser informada pela transcrição, é emblemática, pois indica o momento em que o aluno chega a uma formulação hipotética sobre a forma geométrica existente abaixo da placa. Independente da fala representar ou não o momento da criação da representação, é importante notar que os alunos construíram uma representação sintética do objeto escondido abaixo

da placa por meio das inferências vindas das trajetórias das bolinhas. Ou seja, eles conseguiram **criar uma representação que os permitiu compreender e organizar as percepções obtidas** ao lançar as bolinhas, elemento que consideramos como importante para caracterização da imaginação científica.

O segundo grupo analisado também consegue formular uma representação sintética do objeto:

32:42	61	Aluno 6: Redondo, eu acho que é redondo.	Aluno é bastante enfático em sua fala.
32:45	62	Aluno 7: Redondo assim (1)	(1) Aluno 7 faz um movimento acima da placa para indicar que o formato abaixo é redondo.
32:51	63	((Inaudível))	Aluno 6 começa a fazer o desenho com o formato redondo na folha em cima da placa.
32:58	64	Aluno 7: Mas ele é redondo, mas aqui (1) ele é fechado, quer dizer aberto.	(1) Aluno 7 aponta para o centro do círculo.
33:04	65	Aluno 6: Cadê uma borracha.	
33:22	66	Aluno 8: Mas aqui passou direto	(1) Aluno 8 indica que tem uma segunda abertura.
33:28	67	Aluno 8: Ó, passou de novo. Ela é aberta assim também (1)	(1) Aluno indica com a mão o caminho percorrido pela bolinha mostrando que aquela região deve ser aberta.
34:04	68	Aluno 7: Então, ela é redonda aqui, e aberta aqui e aqui (1)	(1) Aluno 7 indica o formato de uma figura redonda, que é vazada em dois caminhos retos e perpendiculares entre si.

De fato, é interessante notar que a criação, isto é, nesse caso a conclusão de que o objeto deve ter um formato circular com regiões vazadas, permite uma apreensão do objeto escondido que se apresenta de uma forma muito clara e que, automaticamente, é compartilhada pelos três alunos do grupo.

As formas geométricas propostas (formas quadradas e redondas) pertencem ao repertório de conhecimento dos alunos e tem por objetivo reunir as observações obtidas num quadro sintético. Ao atribuir tais formas aos supostos objetos encobertos na atividade, os alunos realizam o salto criativo. Um ponto interessante é que os alunos têm consciência da dimensão hipotética e subjetiva de sua criação.

A criação foi baseada em percepções incertas sobre o que estava abaixo da placa, e eles manifestam isso no trecho abaixo.

34:43	70	Aluno 6: Professor aí, já descobrimos (1).	(1) Aluno 6 mostra o desenho para o professor.
35:02	71	Aluno 6: Nós achamos que era uma coisa meio arredondada.	Aluna é interrompida.
35:22	72	Professor: Então.	
35:24	73	Aluno 6: Nós achamos que era meio arredondada e aqui passava direto e aqui e dá essa figura (1)	Alunos mostram o desenho redondo com os dois caminhos livres, isto é, vazados, ambos retos e perpendiculares.
35:28	74	Professor: Essa figura.	
35:30	75	Aluno 6: É.	
35:34	76	Aluno 8: Não é exatamente ela, mas é alguma coisa do tipo.	

A terceira e última etapa se baseia na existência de *deduções e verificações*, na qual **o pensamento, a partir do conhecimento construído, verifica se a variedade de experiências imediatas se encontra organizada**. A sequência de falas abaixo apresenta a discussão de um trio de alunos que realizam um debate sobre um suposto quadrado com o eixo de simetria girado a 45° em relação à placa de madeira, que também é quadrada. Como um dos alunos não está de acordo, um deles faz a seguinte proposta como forma de verificação.

20:06	25	Aluno 3: Presta a atenção... Imagine que esse quadrado... Imagine que a tábua está assim (1).	(1) Aluno 3 faz um giro de 45 graus na placa de madeira para indicar que a figura abaixo também é um quadrado e que ela deve estar na posição que a placa de madeira que esconde o objeto agora se apresenta.
20:12	26	Aluno 4: Então ta, fazemos assim...	
20:14	27	Aluno 5: Fazemos assim.	

20:16	28	Aluno 3: Jogando aqui ó (1).	(1) Aluno 3, em vez de jogar a bolinha por baixo da tábua, joga a bolinha na própria tábua que foi girada e que, de acordo com o aluno, deve estar agora na mesma posição que o objeto escondido estava antes, para mostrar que a trajetória é igual à que a bolinha fazia, mostrando que aquela é a posição da figura que está abaixo.
20:20	29	((Inaudível))	Aluno 3 joga a bolinha várias vezes para mostrar o comportamento desta quando bate na tábua que serve como modelo para o objeto escondido.
20:34	30	Aluno 3: Então, entendeu?	

Aqui fica claro que, para demonstrar ao colega que sua representação está correta, o aluno, sabendo a posição do quadrado abaixo, faz uma simulação com a placa de madeira, mostrando que, ao colocá-la na suposta posição da figura, o efeito é o mesmo.

Algo semelhante ocorre com o outro grupo de alunos. Este grupo discutia que o formato deveria ser redondo. Para mostrar isso ao colega, um aluno considera:

32:31	59	Aluno 7: Ó, ela bate e volta assim.	(1) Aluno 7 pega um pequeno pote de plástico redondo e começa a atirar a bolinha nele para mostrar que o efeito é o mesmo.
32:39	60	Aluno 8: Mas a forma que volta parece uma coisa redonda.	

É interessante notar que este grupo também busca testar sua representação. Neste caso, a verificação é feita por meio de uma analogia com algo conhecido. Usando o pote de plástico, eles avaliam se a trajetória das bolinhas que atingem esse objeto se assemelha àquelas que ocorrem quando o objeto por baixo da placa é atingido pelas mesmas. A representação sintética se manifesta no conhecimento extraído do caso dos choques das bolinhas no pote redondo.

Em ambos os grupos, as verificações são feitas pelos alunos de forma a mostrar que, a partir do conhecimento estabelecido por eles, é possível prever o

comportamento das bolinhas. Isso mostra que essa representação sintética serve, como afirma Einstein, como um “guia de acesso à realidade”, isto é, mesmo aceitando a dimensão subjetiva da representação criada, ela se mostra muito capaz de organizar os dados sensoriais e tornar uma parcela da realidade inteligível.

A análise demonstra que as três etapas definidas acima podem ser caracterizadas no processo de resolução dos alunos. Falas e ações indicaram que a construção conceitual dos alunos partiu de uma interação com o objeto que eles teriam que representar. A interação foi subjetiva, visto que os alunos não podiam ver o objeto, e baseada nas experiências vivenciadas, com a série de percepções obtidas por meio do lançamento das bolinhas. Isso permitiu aos alunos, em seguida, criar uma representação hipotética do objeto, ao ligarem suas percepções a uma forma geométrica determinada, que explicava os movimentos das bolinhas. As transcrições apontam para o fato de a proposição da representação hipotética não ser tida como segura e certa (lógica na perspectiva da clareza do pensamento), mas fruto de uma aposta imaginativa, onde argumentos de diversas naturezas são lançados para sustentá-las: conhecimento prévio de outras formas, simulações mentais, como no caso o quadrado a 45°. Finalmente, o processo se encerra com a necessidade de verificação. A representação sintética manifestada na proposta do formato do objeto é colocada à prova. Eles buscam criar contextos onde possam haver deduções, a partir da forma imaginada do objeto, passíveis de verificação por meio das trajetórias.

IV. Considerações finais

No início deste trabalho, buscamos ressaltar a importância de uma educação que valorizasse, além dos conteúdos conceituais, as formas de pensamento e raciocínios presentes nas ciências. No entanto, uma das maiores dificuldades quando nos inserimos nesta perspectiva de ensino, é caracterizar as diferentes etapas do pensar científico. O limitado número de trabalhos na literatura que se propõem a discutir e delimitar o processo de criação na ciência levou-nos a uma análise teórica sobre a imaginação que visou constituir um quadro teórico que nos permitisse compreender o processo criativo. Para isso, chegamos a um modelo bastante restrito desse processo, que atribuiu à imaginação o papel fundamental de criação de representações que expliquem uma parcela do mundo percebido. Poderíamos considerar outras facetas do fazer científico que envolvem habilidades criativas, como a capacidade de elaborar procedimentos experimentais para testar hipóteses, ou a capacidade de lidar com problemas de ciência, tecnologia e sociedade. No entanto,

considerando que um dos objetivos mais importantes da ciência é a capacidade de criar modelos explicativos para situações que, para serem entendidas, não podem ser reduzidas às nossas percepções, este trabalho optou em valorizar essa faceta do saber científico em detrimento às outras.

Para fundamentar a discussão teórica acerca da imaginação, realizamos um estudo sobre o pensamento de Einstein e apresentamos sua descrição de como ele elaborou suas ideias. A partir disto, foi apresentada uma caracterização do processo de criação que resumiu este processo em três momentos principais: *percepção intuitiva da realidade*, *salto criativo que liga as percepções aos conhecimentos gerais* e *as deduções e verificações*.

O passo mais importante foi verificar que esta estrutura de pensamento se reflete, em alguma medida, nas estratégias de resolução que os alunos passam ao resolver uma atividade que, como verificamos, faz apelo ao uso da imaginação. Esse ponto foi fundamental, pois o trabalho de caracterização da imaginação foi realizado com uma base demasiadamente teórica em relação às discussões de ensino. Com isso, a verificação de que o processo descrito ocorre nas reflexões dos alunos se tornou um resultado de grande relevância para este trabalho, por mostrar a possibilidade e, em alguma medida, a validade da imaginação atuar criativamente da forma pré-estabelecida pelos referenciais teóricos. Assim, consideramos que o caminho teórico traçado por este artigo se mostrou como uma perspectiva pertinente para futuras discussões sobre a imaginação criadora, revelando-se um bom referencial para a compreensão do processo de imaginação e para o estudo desse tema em sala de aula.

Essas ainda são ideias preliminares que buscam entrelaçar uma discussão teórica com considerações didático-pedagógicas. Acreditamos que essa é uma forma conveniente de se pensar inovações. No entanto, quando um mesmo trabalho se dispõe a articular áreas específicas como a epistemologia e a didática, os resultados dificilmente são conclusivos e encerram uma discussão. Isso ocorre justamente quando partimos de uma articulação que se justifica por uma falta de referências sobre determinado tema, mostrando que este é somente o início de um longo processo de investigação.

Referências

ARRUDA, S. M. et. al. Da aprendizagem significativa à aprendizagem satisfatória na Educação em Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, n. 2, p. 194-223, 2004.

- BACHELARD, G. **A filosofia do não**. São Paulo: Abril Cultural, 1978. 82p.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Ed. Contraponto, 1996. 314p.
- BODEN, M. O que é Criatividade. In: _____. **Dimensões da criatividade**. Porto Alegre, Artmed, 1999. cap. 4, p. 81-124
- BRANNINGAN, A. **Le fondement social des découvertes scientifiques**. Paris: PUF, 1996. p. 306
- BRONOWSKI, J. **O olho visionário: ensaios sobre arte, literatura e ciência**. Brasília: Editora UnB, 1998. p.289
- BYRNE, R. **The rational imagination**. Cambridge: MIT Press, 2007. p. 254.
- CARVALHO, A. M. P. metodologia de investigación en enseñanza de Física: una propuesta para estudiar procesos de enseñanza y aprendizaje. **Revista de Enseñanza de la Física**. v. 18, n. 1, p. 29-37, 2005.
- EINSTEIN, A. **Escritos da Maturidade**. Rio de Janeiro: Editora nova Fronteira, 1994. p. 303
- _____. **Como vejo o mundo**. Rio de Janeiro: Editora nova Fronteira, 1981. p. 213.
- _____. **Lettres à Maurice Solovine**. Paris: Gauthier-Villars, 1956. p. 398
- _____. **Notas autobiográficas**. Rio de Janeiro: Editora nova Fronteira, 1982. p. 88
- _____. Física e realidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 9-22, 2006.
- _____. Geometria e experiência. **Scientiae Studia**, v. 3, n. 4, p. 641-662, 2005.
- _____. Indução e dedução na Física. **Scientiae Studia**, v. 3, n. 4, p. 663-681, 2005.
- EINSTEIN, A.; BESSO, M. **Correspondance**. Paris: Hermann, 1972. p. 521

ERICKSON, F. Qualitative Research Methods for Science Education. FRASE, B. J. e TOBIN, K. G. (Eds.) **International Handbook of Science Education**. Inglaterra: Kluwer Academic Publishers, 1998. cap. 5, p. 1112-1143.

GALEMBECK, P. T. O Turno Conversacional. In: PRETI, D. (Org.) **Análise de textos orais**. São Paulo: Humanitas, 1997. cap. 4, p. 36-47.

GARDNER, H. **The creators of the modern era**. New York: Basic Books, 1993.

GRANGER, G. G. Imaginação poética, imaginação científica. **Discurso**. n. 29, p. 3-17, São Paulo: Discurso Editorial, 1998.

_____. **A Razão**. Lisboa: Edições 70, 1985. p.131

GURGEL, I. **A imaginação científica como componente do entendimento: subsídios para o ensino de Física**. 2006. Dissertação (Mestrado) - USP, São Paulo.

HADAMARD, J. **Essai sur la Psychologie de l'Invention dans le Domaine Mathématique**. Paris: Gauthier-Villars, 1959. p. 149

HESSE, M. **Models and analogies in Science**. Indiana: University of Notre Dame Press, 1970. p.184

HOLTON, G. **Scientific Imagination**. Harvard University Press, 1979. p. 312

LAPLATINE, F.; TRINDADE, L. **O que é imaginário**. São Paulo: Brasiliense, 2003. p. 82

LOCATELLI, R. J. **Uma análise do raciocínio utilizado pelos alunos ao resolverem os problemas propostos nas atividades de conhecimento físico**. 2006. Dissertação (Mestrado) - USP, São Paulo.

MERLEAU-PONTY, J. **Einstein**. Lisboa: Instituto Piaget, 1993. p. 274

MATHEWS, M. Models in Science and in Science Education. **Science & Education**, v. 16, n. 7-8, p. 607-629, 2007.

MILLER, A. **Einstein, Picasso: Space, Time and the Beauty that Causes Havoc**. New York: Basic Books, 2001. p.421

_____. **Insights of genius**. New York: Springer, 1996. p. 329

NERSESSIAN, N. J. **Creating Scientific Concepts**. Cambridge: MIT Press, 2008. p. 251

_____. Maxwell and “the method of physical analogy”: model-based reasoning, generic abstraction, and conceptual change. In: MALAMENT, D. (Ed.) **Reading Natural Philosophy**. Chicago: Open Court, 2002. p. 129-166.

PATY, M. A. Teoria da relatividade de Einstein como exemplo de criação científica. In: ENCONTRO DA REDE PARANAENSE DE PESQUISA EM HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA, III, 2005, Curitiba. **Anais...**

_____. a criação científica segundo Poincaré e Einstein. **Estudos Avançados**, v. 15, n. 41, p. 157-192, 2001.

_____. **Einstein Philosophe**. Paris: PUF, 1993. p. 584

PIAGET, J.; GARCIA, R. **Psychogenesis and the History of Science**. Columbia: Columbia University, 1989. p. 214

PIETROCOLA, M. A Matemática como estruturante do pensamento físico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 2, p. 93-114, 2002.

PRETI, D. **O discurso oral culto**. São Paulo: Humanitas, 1997. p. 227

SILVA, C. C. The role of models and analogies in the electromagnetic theory: a historical case study. **Science & Education**, v. 16, n. 7-8, p. 835-848, 2007.

SIQUEIRA, M. R. **Do visível ao indivisível: uma proposta de ensino de física de partículas elementares para a Educação Básica**. 2006. Dissertação (Mestrado) - IFUSP, São Paulo.

SUTTON, C. Ideas sobre la Ciencia e ideas sobre el Lenguage. **Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales**, n. 12, p. 8-32, 1997a.

_____. **Words, science and learning**. Philadelphia: Open University Press, 1997b.

VIENNOT, L. Raisonement commun en Physique: relations fonctionnelles, chronologie et causalité. In: VIENNOT, L. ; DEBRU, C. (Org.) **Enquêt sur le Concept de Causalité**. Paris: PUF, 2003, cap. 2, p. 7-30

YORE, L. et. al. Examining the literacy component of science literacy: 25 years of language arts and science research. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 6, p. 689-725, 2003.