

Explicações Científicas, Explicações Escolares e Entendimento

JOSÉ FRANCISCO CUSTÓDIO¹, FREDERICO FIRMO DE SOUZA CRUZ² e MAURÍCIO PIETROCOLA³

¹*Departamento de Física e Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, custodio@fsc.ufsc.br*

²*Departamento de Física e Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, fredfirmo@gmail.com*

³*Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo - Departamento de Metodologia do Ensino e Educação Comparada, mpietro@usp.br*

Resumo. Neste trabalho analisaremos o conceito de explicação na ciência, no cotidiano e na educação científica. Isto nos ajudará a distinguir entendimento científico de entendimento na educação científica. Argumentamos que o entendimento na educação científica carece e busca valor psicológico, diferentemente do entendimento científico. Finalmente, discutiremos propostas na literatura que consideram aspectos subjetivos/afetivos de um indivíduo fatores que acompanham o entendimento de uma explicação.

Abstract. In this work we will analyze the concept of explanation in science, in the daily life and the scientific education. This will help us to distinguish scientific understanding from understanding in scientific education. We argue that understanding in scientific education does need and seeks for psychological value unlike understanding in science. Finally, we will discuss proposals in literature that consider subjective/affective aspects factors that come along with the understanding of an explanation.

Palavras-chave: explicações científicas, explicações escolares, entendimento, subjetividade/afetividade.

Keywords: scientific explanations, scholars explanations, understanding, subjectivity /affectivity.

Introdução

Explicar fenômenos do mundo físico é um dos principais objetivos das Ciências Naturais, mas ao longo da história o homem sempre buscou entender e explicar a enorme diversidade das ocorrências do mundo que o envolvia, as quais o deixavam muitas vezes perplexo e não raro amedrontado; prova disso é a multiplicidade de mitos e metáforas que imaginou para justificar a existência do mundo, de si próprio, a vida e a morte, o movimento dos astros, a sucessão regular do dia e da noite, as mudanças de estações, o relâmpago e o trovão (HEMPEL, 1970). O que eram os mitos senão fenômenos humanos, fenômenos de cultura, criações do espírito que ofereciam ao homem arcaico “uma explicação do mundo e do seu próprio modo de existir no mundo” (ELIADE, 2000, p. 17). Independentemente do apelo para entes ou agentes sobrenaturais, é inegável que essas explicações eram psicologicamente satisfatórias e “davam a quem as aceitava o sentimento de uma compreensão, porque lhe aplacava a perplexidade; neste sentido eram ‘respostas’ às perguntas formuladas” (HEMPEL, 1970, p.65).

Gradativamente, os elementos ocultos ou sobrenaturais foram substituídos por correlações racionais de experiências, configurando novas formas de explicar os fenômenos naturais baseadas cada vez mais em uma concepção de universo apoiada clara e logicamente na experiência e

passível de verificações objetivas. Acontecimentos naturais passaram a ser creditados a causas naturais. Padrões gerais passaram a ser procurados fora da esfera do mágico ou sobrenatural, e adequados ao modo como o mundo é construído. As explicações que a ciência oferecia permitiram um grande domínio sobre a natureza, por meio das hipóteses propostas, testadas, provadas e aprovadas pela prática coletiva. Assim, a ciência ofereceu uma forma diferente de explicar e entender, pois existem outras formas de entendimento, como, por exemplo, a religião.

Mas, o ponto de vista mítico e o científico guardam semelhanças. Ao que parece o núcleo comum é a busca de entendimento. Se, por um lado, a Ciência nasceu para auxiliar o homem no controle do seu ambiente, por outro lado, atende através do entendimento sobre o mundo, a necessidade básica de apaziguamento através do sentimento de compreensão, função similar a do mito na antiguidade. Isso porque construir explicações é parte constitutiva do viver humano, a ciência apenas capitaliza essa potencialidade (GOPNIK, 1996; 1998). Todavia, a busca do *sentimento de uma compreensão*, de que fala Hempel, que no passado fora força motriz das explicações primordiais sobre o mundo, perdeu vigor em favor da lógica universal e do controle da natureza. A ciência progrediu na exacerbação da racionalidade, e em particular, minimizando a dimensão psicológica, as idiossincrasias individuais e o social não comprometido com valores cognitivos.

Neste trabalho, iremos postular a revalorização do papel das explicações científicas no contexto escolar, pois por meio delas pode-se reconectar os sentimentos de compreensão que motivaram a apreensão da natureza desde os primórdios da humanidade. Essa preocupação se fundamenta no fato “curioso, senão surpreendente, que o tema explicações não venha sendo objeto de estudo ou investigação sistemática na área de Ensino de Ciências” (MARTINS et al., 1999, p.2). O que é uma explicação científica? O que é uma explicação escolar? Qual a relação entre explicações e entendimento nestes domínios? O que leva um indivíduo a aceitar uma explicação? Qual a função de variáveis subjetivas/afetivas na aceitação/entendimento de uma explicação? São questionamentos que norteiam essa tarefa. Inicialmente, analisaremos o conceito de explicação na ciência, no cotidiano e na educação científica. Isto nos ajudará a distinguir entendimento científico de entendimento na educação científica. Finalmente, discutiremos propostas na literatura que consideram aspectos subjetivos/afetivos de um indivíduo fatores que acompanham o entendimento de uma explicação.

Explicações científicas

As explicações na ciência se originam muito provavelmente de motivações fundamentais do homem. A curiosidade epistêmica, já mencionada por Bachelard (1934) e outros autores (HEMPEL, 1970), se manifesta pelo desejo profundo e persistente do homem de chegar a conhecer e compreender o mundo que habita. O valor da ciência residiria em que ela constitui a melhor estratégia sistemática e organizada até hoje inventada para responder perguntas sobre o *porquê* de a natureza ser com ela é¹. A explicação científica é nada mais do que resposta histórica a este “por que”.

Desde o tempo dos gregos antigos, a possibilidade de conhecer era vista com um potencial em separado das necessidades básicas de sobrevivência. Havia esperança de um conhecimento puro. O conhecimento teria um valor em si mesmo. Antes de ser uma necessidade, a virtude de explicar as coisas atenderia a demandas pessoais de configurar o mundo como algo “familiar”. Hoje, abandonado este sonho contemplativo, mesmo assim, torna-se razoável a crença que a ciência responde a anseios do homem de ganhar um conhecimento cada vez mais amplo do mundo em que ele se encontra. É claro, o prestígio da atividade científica salta aos olhos quando se observa o alcance de suas aplicações no controle da natureza (CUPANI, 2004). Mas, a mola propulsora da ciência parece se forjar de motivações mais fundamentais. “Um cientista sem paixão poderia ser no melhor um cientista medíocre” (THAGARD, 2002, p. 250). Todavia, os relatos oficiais sobre explicações são objetivistas. Segundo estas versões, o que faz uma explicação boa, são propriedades independentes da psicologia e das motivações de quem explica. São referências a objetos externos, independentes de mentes particulares. São propriedades que podem ser formais ou causais.

Assim, boa parte da análise clássica do problema da explicação científica se debruçou na investigação de estruturas lógicas, principalmente com os pensamentos dos filósofos Popper (1985) e Hempel (1970, 1979), cuja interpretação mais difundida das explicações científicas é o modelo *nomológico-dedutivo (N-D)*². Tal modelo baseia-se na idéia que uma explicação é um argumento no qual a conclusão (**E**) é uma descrição do fenômeno a ser explicado, o *explanandum*, e cujas premissas, que formam o chamado *explanans*, são de dois tipos: (a) aquelas que descrevem determinados fatos particulares (**C**) relacionados com o fenômeno a ser explicado, e (b) aquelas que descrevem regularidades na natureza, expressas por meio de leis gerais (**L**). O argumento, isto é a explicação, é uma resposta a uma questão por quê? Da forma: por que ocorre *p*? na qual *p* é o

¹Discussões sobre a afirmação que a Ciência *descreve* em vez de *explicar* os fenômenos são encontradas em Bunge (1979) e Concari (2001).

²Outros modelos são discutidos em Dutra (1998).

fenômeno a ser explicado, aquele que é descrito no *explanandum* do argumento, que é a explicação dada a este fenômeno (DUTRA, 1998). Suponhamos um exemplo. Se observarmos um feixe de luz mudando de direção quando passa do ar para o vidro, perguntamos: Por que *esse feixe de luz mudou de direção*? Uma explicação do tipo N-D para esta questão seria:

O feixe de luz mudou de um meio de propagação para outro (C)

Sempre que a luz muda de um meio de propagação para outro muda à direção de propagação (L)

Portanto, esse feixe de luz mudou a direção de propagação (E)

Neste exemplo, o fato relacionado (C) é que o feixe de luz mudou de um meio de propagação para outro, a lei geral (L) é que sempre que a luz muda o meio de propagação muda a direção de propagação (lei da refração), as quais compõem as premissas do argumento (o *explanans*); e o fato a ser explicado, a mudança de direção de propagação do feixe de luz (E), é a conclusão do argumento (o *explanandum*).

Com o tempo esta visão apresentou suas deficiências. Bunge (1969), por exemplo, minou o apego ao caráter puramente lógico da explicação científica. A explicação científica observada apenas do ponto de vista da lógica, diz Bunge, leva a considerar que explicar se resume a demonstrar, pois nada de novo aparece além daquilo contido no sistema prévio de idéias. Ou seja, explicar um evento seria mostrar a existência de implicações entre o evento particular e um caso geral, simplesmente incluindo-o em um conjunto admitido de suposições. A explicação científica não se limita a vincular a existência de um acontecimento com leis, senão que, mediante estas últimas, insere a descrição do fato em uma teoria. “É esse respaldo teórico que responde, em última instância, pela explicação científica *stricto sensu*” (CUPANI e PIETROCOLA, 2002, p. 114).

Teorias permitem explicações que superam a formulação e sistematização de um fato, o que ocorre, por exemplo, como a explicação de que a pressão de um gás duplica quando se reduz o seu volume à metade, com referência somente à lei fenomenológica de Boyle. Uma explicação propriamente dita, segundo Bunge (1969), objetiva “*representar o modus operandi de seus correlatos*” (p.585), e conterà a teoria cinética dos gases, a qual por sua vez conterà hipóteses básicas (axiomas) que vão além da lei de Boyle: (a) um gás consiste em uma coleção de partículas (moléculas) de uma dimensão desprezível em comparação com suas distâncias recíprocas; (b) as moléculas de gás se movem aleatoriamente. Partindo desses pressupostos pode-se derivar as seguintes conseqüências (teoremas). Primeiro, se se interpõem um obstáculo na trajetória das moléculas acontecem colisões; em particular, as moléculas contidas em um recipiente se chocaram

com as paredes e exerceram uma força sobre estas, a razão entre a força resultante e área da parede é a pressão do gás. Segundo, se se diminui o espaço disponível, o número de choques por unidade de área e tempo aumentará; em particular, se o volume diminui a metade, o número de choque se multiplicará por dois e conseqüentemente a pressão experimentalmente a mesma troca. E, apenas de posse desta estrutura teórica é que podemos responder uma série de perguntas do tipo por quê? por exemplo, por que aumenta a resistência da bomba de bicicleta a medida que empurramos o pistão até o fundo? Por que devemos expirar o ar à medida que emergimos de um mergulho razoavelmente profundo? Em resumo, *“uma explicação se constitui ao recorrermos, para um dado explicandum, a suposições e hipóteses não presentes nele próprio e das quais pode ser derivado”* (CUPANI e PIETROCOLA, 2002, p.120).

A concepção atual, mais geral, pautada na fundamentação teórica, retira a explicação científica da condição de simples inclusão de enunciados particulares em enunciados gerais, pois se apenas isso se desse, não teríamos explicação de *por que* esses enunciados gerais têm certa formulação e não outra. Em outras palavras, são as teorias que dão suporte as explicações e a função da ciência é procurar por teorias que explicitem com maior precisão os mecanismos internos do real.

Explicações no cotidiano e na educação científica

Explicações normalmente produzidas pelas pessoas colocam os fenômenos a serem explicados em alguma grande estrutura conceitual (BREWER et al., 1998). Por exemplo, se alguém pergunta “por que um balão se expande quando colocado sob o sol?”, respostas do tipo “vejo ele crescer” ou “eu gosto de balões”, não colocam o fenômeno em grandes estruturas conceituais, portanto, não constituem explicações. Uma explicação típica seria, “ele contém gás e os gases se expandem quando aquecidos”. Colocando o fenômeno em uma grande estrutura conceitual a pessoa poderia questionar se outro balão colocado no mesmo local poderia vir a ter o mesmo comportamento, expandindo-se ou contraindo-se ou até mesmo ficando do mesmo tamanho. Explicações deste tipo seguem em geral uma seqüência causal de eventos. A explicação pode evoluir integrando diversos fenômenos: é possível conceber a idéia que existem uma grande quantidade de partículas pequenas que se chocam contra as paredes elásticas do balão e que são produzidos choques mais violentos à medida que o balão se aquece, causando sua expansão. Com esta explicação é possível entender o comportamento de outros eventos deste domínio.

Segundo Brewer et al. (1998), os tipos de estruturas conceituais usualmente utilizadas pelas pessoas em geral para dar explicações são: *causal/ mecânica, funcional e intencional*. Eles

argumentam que “essas estruturas conceituais envolvem alguns dos sistemas mais gerais de organização do intelecto humano como causalidade e intencionalidade” (p. 125). Estas estruturas conceituais vão além do fenômeno original, integrando diversos aspectos do mundo, e apresentam como o fenômeno original pode ser explicado pela estrutura. Para estes autores as explicações usadas no cotidiano são estruturalmente muito semelhantes àquelas usadas pelos cientistas. Os cientistas apenas aplicariam os critérios de qualidade “muito mais severamente que os não cientistas” (BREWER, 1999, p. 501). Além disso, as explicações difeririam somente no conteúdo de abstração e formalismo, sem, contudo, eliminar a base comum no processo de geração e avaliação. A diferença fundamental residiria no fato que nas ciências as explicações devem também ser, em princípio, testáveis.

Tanto na ciência quanto na educação científica, Gilbert et al. (1998a) sugerem que “uma explicação é uma resposta promovida a uma questão específica” (p. 83), pois nenhum tipo de explicação é apropriada em todas as circunstâncias e para todos os questionadores. Neste caso, necessita-se um conjunto padrão de questões a fim de decidir qual explicação verdadeiramente é a *adequada*. Ou seja, só podemos falar em explicação quando tratamos de respostas a uma classe pré-definida de questões e os respectivos tipos de respostas que elas requerem. O problema da definição de explicação passa a focalizar, então, não a resposta, mas a relação entre a resposta produzida e a questão colocada. Assim, eles mostraram como uma tipologia de explicações na ciência e na educação científica pode ser construída com base na essência da questão que a desencadeou: (a) *intencional* (Por que este fenômeno está sendo explicado?); (b) *descritiva* (quais são as propriedades deste fenômeno?); (c) *interpretativa* (de que este fenômeno é composto?); (d) *causal* (Por que este fenômeno se comporta da maneira que ele faz?); (e) *preditiva* (como o fenômeno irá se comportar sobre outras condições?). Por tanto, mais que se considerar se as explicações em sala de aula são ou não científicas, deve-se considerar se são ou não adequadas, ou se são mais ou menos adequadas que outras (CONCARI, 2001). Isso permite entender algumas dificuldades de ensino, pois as perguntas feitas nas escolas são internas ao professor e ao pesquisador, mas quase sempre externas aos alunos, dificultando a sua interiorização.

O grau de recorrência a cada tipo de explicação irá variar conforme a atividade em que o questionador ou indivíduo que responde está envolvido. Para muitos filósofos da ciência (HEMPEL, 1979; POPPER, 1985), as explicações do tipo (d) e (e) são o ar que respiram os cientistas, embora as explicações do tipo (a) e (b) levem em considerações as justificativas da pesquisa ser levada a termo e as constatações no estágio inicial da pesquisa. Enquanto, filósofos mais comprometidos com uma postura realista (BUNGE, 1969, 1974) dão ênfase também às explicações do tipo (c), isto porque atribuem à ciência a capacidade de oferecer uma “visão do

funcionamento interno das coisas”. Já na escola, há poucas oportunidades para os estudantes exporem suas próprias explicações intencionais ou apropriarem-se da natureza das explicações científicas (GILBERT et al., 1998a).

Além de preocupação em definir o que seja uma explicação, é desejável também conhecer quais critérios tornam razoável a um indivíduo crer nelas e utilizá-las. Aliada a natureza das explicações devemos, então, compreender os mecanismos que tornam uma explicação *apropriada* para uma dada circunstância. De acordo com Gilbert et al. (2000), uma explicação pode ser avaliada como *apropriada* considerando-se três componentes: *adequação*, *relevância* e *qualidade*. A *adequação* de uma explicação é uma declaração sobre a relação entre o tipo de questão feita e o tipo de explicação confeccionada. A *relevância* de uma explicação é a medida do grau no qual ela reúne as necessidades do questionador. A relevância de uma explicação pode ser atestada em dois níveis. No primeiro nível, o *extrínseco*, o questionador percebe que quem explica valoriza demasiadamente certas explicações e, portanto, elas devem ser aprendidas. Ainda neste nível, entra em jogo o contexto social no qual a explicação é recebida. No segundo nível, o *intrínseco*, o questionador *deseja saber* ou *compreender* alguma coisa por seus próprios motivos. Neste caso, o estudante valorizaria as explicações, pois as julgaria relevantes às suas necessidades pessoais. A *qualidade* de uma explicação é a medida de sua legitimidade comparada com o corpo de conhecimento aceito pela comunidade científica. Na visão de Gilbert et al. (2000), uma explicação deve: apresentar *plausibilidade*; usar conceitos em menor quantidade e mais amplo alcance do que sua predecessora, ser *parcimoniosa*; ser aplicável a maior gama possível de contextos, ser *generalizável*; levar ao maior número de predições de sucesso, ser *frutífera*.

Numa postura *naturalista*, Brewer et al (1998) procurando compreender os processos reais de validação de explicações, hipotetizam que na proposição de “uma explicação para um fenômeno parece que existe uma tendência humana natural de avaliar a qualidade da explicação” (p. 121). Brewer e seus colegas estabeleceram com base em diversos estudos empíricos que proposições gerais devem se submeter a um processo de avaliação de qualidade para se tornarem explicações. No padrão cognitivo de leigos, que ao nosso ver são bem próximos de um estudante de ensino médio, esta avaliação se fundamentaria em seis categorias: (a) *precisão empírica* – preferência por explicações que são mais consistentes do que inconsistentes com a evidência empírica; (b) *alcance* – preferência por explicações que relatem o maior número de fenômenos; (c) *consistência* – preferência por explicações que apresentam coerência interna; (d) *simplicidade* – preferência por explicações que relatem o fenômeno com um número menor de suposições ou hipóteses; (e) *plausibilidade* – o grau no qual uma explicação é consistente com o ‘background’ de

crenças; (f) *crenças irracionais* – que se refere a crenças como criacionismo e presença de alienígenas na terra.

O interessante é apreciarmos a superposição entre requisitos apresentados por Brewer et al. (1998) e Gilbert et al. (2000), o que fornece indícios para construção de uma base comum de raciocínio das pessoas quando se fala de explicações. Em nossa opinião, tais pesquisas oferecem um apoio teórico poderoso à compressão do domínio cognitivo das explicações.

Basicamente, poderíamos resumir os padrões de validação de explicações avançados nestas pesquisas como satisfazendo a necessidades lógico-dedutivas da mente que se defronta com o mundo empírico. Isto é, vê-se que os critérios de qualidade de uma explicação apresentados por Gilbert et al. (plausibilidade, parcimônia e generalidade) se aproximam muito dos critérios de Brewer et al. (precisão empírica, consistência, alcance, simplicidade), e de critérios epistêmicos.

Por outro lado, Brewer et al. (1998), além das categorias epistêmicas, adiciona a categoria *crenças irracionais*, que englobaria tudo que não está no domínio estrito do racional, incluindo aí os aspectos subjetivos/afetivos da personalidade humana. A forma como a categoria é definida, em termos de *irracionalidade*, pode denotar uma desvalorização destes aspectos, induzindo a considerá-los como desvios de conduta a serem evitados. No caso de Gilbert et al., tanto a adequação quanto a relevância são critérios dependentes fortemente do contexto escolar e ou científico, mas, é no critério de relevância intrínseco e extrínseco que se tem margem para aprofundar as questões subjetivas e afetivas. Porém, o trabalho de Gilbert et al. (2000), na condição de um trabalho *normativo*, está voltado a determinar como as explicações *devem* ser, e diz pouco a respeito da influência do contexto subjetivo/afetivo na produção e validação de explicações. Coincidentemente, as várias categorias propostas por Brewer et al., Gilbert e seus colaboradores são do mesmo gênero das virtudes consideradas por Posner e colegas no modelo de mudança conceitual (POSNER et al., 1982). O que emerge deste tipo de análise sobre a natureza, tipos e validade das explicações é uma ênfase nos aspectos racionais valorizados pela atividade científica. Lacey (1998) definiu estes aspectos em termos de *valores cognitivos*, que embora importantes não são os únicos. Assim, é razoável admitir que apenas os valores cognitivos, no domínio lógico-racional, desempenham função constitutiva/seletiva na proposição de explicações no contexto extra científico? Quais seriam os outros domínios que concorrem para a qualificação de uma explicação para as pessoas em geral?

Estas questões colocam em dúvida argumentos como os de Brewer e colegas, pois embora existam estruturas conceituais comuns entre cientistas e leigos, existem também as concepções com seus valores cognitivos e não cognitivos. As concepções possuem uma natureza teórica e geram significados, mas não constituem teorias. Mais do que isto, além do conteúdo, mais ou

menos abstrato e do formalismo, a própria natureza e o objetivo da explicação influencia o processo de geração e avaliação e termina por diferenciar o que ocorre na ciência e na vida cotidiana. O reconhecimento destas diferenças, que em alguns casos pode ser sutil, é importante, visto que muitas vezes os conflitos e obstáculos no ensino ocorrem pelos conflitos não revelados entre a concepção do aluno e a idéia científica de explicação. Neste sentido a diferenciação entre cientistas e leigos vai além da testabilidade e ou severidade de critérios lógicos e ou empíricos.

Para além do embate de concepções entre cientistas e leigos, existe ainda o contexto escolar que entre outras funções é o local de formação e de disseminação de critérios que definem o que é ou não uma explicação científica. Assim há, diferenciando alunos e cientistas, fatores próprios da estrutura escolar. Isto é, enquanto na escola a prova e as avaliações, ou o professor estabelecem o que é ou não uma boa explicação, qual sua relevância, qualidade e adequação; o contexto tanto social e cultural como o científico podem gerar conceitos conflitantes de descrição, interpretação, predição e causalidade.

Entendimento científico

Explicações científicas são por excelência a transformação de uma proposição inexata a partir da linguagem ordinária em uma proposição mais exata de uso científico. Conforme explicitado anteriormente, aprofundamos e racionalizamos o nosso saber na medida em que inserimos fatos em um sistema de entidades relacionadas por teorias, modelos e leis, levando a redução do fenômeno *explicandum* ao fenômeno *explicans*. Este tipo de relato provoca *entendimento* do processo pelo qual um fenômeno ocorre. No entanto, qual a importância de uma concepção de entendimento para as explicações científicas? Qual tipo de entendimento podem provocar explicações a eventos relatadas sob o vocabulário científico? Existe valor psicológico no entendimento oferecido pelas explicações científicas? O que há na estrutura das explicações científicas que provoca entendimento do mundo?

Existe muita concordância que provocar entendimento é central para explicações. Por exemplo, Trout (2004) argumenta que “entendimento é centralmente envolvido em explicações, quer como objetivo intelectual ou como significado de prática unificadora” (p. 215). Zhu e Thagard (2002) afirmam que “explicação é uma estrutura ou processo que provoca entendimento” (p. 33). Achinstein (1983) reconhece uma “relação fundamental entre explicação e entendimento” (p. 16). Concari (2001) sugere que “explicar significa incrementar o entendimento das causas do fenômeno” (p.89). Brewer et al. (1998) afirmam que “entendimento pode fundamentar a motivação das pessoas para construir explicações” (p. 121). Woody (1995) declara que “para muitos cientistas hoje, um apelo por explicação é um apelo por entendimento” (p. 1296). Kitcher

(1981) reconhece o entrelaçamento íntimo entre entendimento e explicação, sugerindo que a elucidação desta conexão em uma teoria da explicação “pode nos mostrar como a explicação científica avança nosso entendimento” (p. 508).

Embora haja acordo sobre a conexão entre explicações e entendimento, o mesmo não ocorre em relação aos termos desta conexão. Friedman (1974) ilustrou algumas tentativas na literatura de esclarecer o conceito de entendimento³. Ele rejeita a conexão feita por Hempel entre seu modelo nomológico-dedutivo [N-D] e a noção de entendimento. Segundo Hempel (1965), o argumento N-D mostra que, “dadas às circunstâncias e as leis em questão, a ocorrência do fenômeno pode ser esperada; e é neste sentido que a explicação nos habilita a entender porque o fenômeno ocorreu” (p. 327). Tal tentativa de articular explicação e entendimento, na opinião de Friedman, é minimamente aceitável quando se trata de casos especiais de explicação de eventos particulares, passados em um tempo definido, no qual podemos realmente esperar sua ocorrência; mas, falha ao supor que expectativa racional coincida com entendimento. Segundo Friedman, podemos ser hábeis em prever algum fenômeno com base em leis e condições iniciais, porém isto não significa entendermos porque o fenômeno aconteceu. Por exemplo, um barômetro pode oferecer previsões empíricas referentes às distribuições da pressão atmosférica, alertando da chegada de uma tempestade. Contudo, deixa de informar a constituição física da atmosfera, os mecanismos de formação das nuvens, e as regularidades que regem o tempo atmosférico, com base em variáveis internas. Expectativa racional seria até um componente desejável para o entendimento, entretanto, insuficiente.

A proposta de Friedman (1974) para o impasse consiste em atrelar entendimento do mundo à propriedade das explicações de reduzir o número total de fenômenos independentes que devemos admitir como ultimamente dados. Por exemplo, a teoria cinética ao explicar fenômenos envolvendo o comportamento dos gases, com referência ao comportamento das moléculas cujo gás é composto, supõe que elas em boa aproximação obedecem a lei de Boyle-Charles. Contudo, não se trata de substituir um fato bruto por outro. A teoria permite derivar outros fenômenos envolvendo o comportamento dos gases, como o fato deles terem capacidades térmicas específicas. Na opinião de Friedman a teoria efetua “uma significativa unificação que nós temos que aceitar” (p. 14), pois poderíamos prosseguir, atribuindo o comportamento das moléculas a ação das leis da mecânica newtoniana; integrando assim, a teoria cinética dos gases com outros fenômenos, como o movimento dos planetas e a queda dos corpos nas proximidades da terra. Neste sentido, “nós substituímos um fenômeno por outro mais abrangente, deste modo efetuamos

³ Outras interpretações sobre o poder explanatório da ciência e sua relação com entendimento científico podem ser encontradas em Lipton (1991) e De Regt (2004).

uma redução no número total de fenômenos aceitos. Nós então genuinamente aumentamos nosso entendimento sobre o mundo” (p. 19).

Esta abordagem orientada para unificação foi expandida por Philip Kitcher (1981, 1989). Na abordagem de Kitcher, entendimento não emerge espontaneamente da mera redução de compromissos teóricos independentes, entendimento depende da posse de conhecimento prévio e experiência para assimilação de diferentes fenômenos em categorias comuns.

Entender o fenômeno não é simplesmente uma questão de o reduzir a “incompreensibilidades fundamentais” mas de ver conexões, padrões comuns, no que inicialmente parecem ser situações diferentes. [...] A ciência avança no entendimento da natureza nos apresentando como derivar descrições de muitos fenômenos, usando os mesmos padrões de derivação muitas vezes, e, na demonstração disto, nos ensina como reduzir o número de tipos de fatos que nós temos de aceitar como últimos (ou brutos) (Kitcher, 1989, 432).

Na visão de Kitcher, explicações jogam um papel epistêmico na ciência porque no seu trabalho diário os cientistas devem unir achados locais com uma quantidade muito pequena de modelos e teorias que eles usam e avaliam.

Nós concordamos inteiramente com as descrições de Friedman e Kitcher, que o atributo da explicação que fornece entendimento do fenômeno explicado, seja mais amplo que a estrita relação lógica entre premissas e conclusão. Entretanto, Friedman e Kitcher não mencionam ou se preocupam com os mecanismos que fazem cada cientista em particular alcançar entendimento. Seus relatos se referem a como, do ponto de vista epistemológico, uma comunidade de cientistas alcança entendimento sobre a realidade. Este tipo de entendimento é, portanto, consensual, e tem seu foco no empreendimento científico como um todo. Friedman e Kitcher consideram que entendimento em seu aspecto individual e psicológico é uma noção relativa, portanto, varia e ganha sentido unicamente de indivíduo para indivíduo.

Grande parte da repugnância dos filósofos sobre uma noção psicológica/subjectiva de entendimento, mesma aqueles de tradições distintas de Friedman e Kitcher, incide no fato que para que uma explicação científica forneça entendimento sobre o mundo ela deva reduzir fenômenos não-familiares aos familiares. Hanson (1985) diz que “a distinção entre a compreensão no sentido de familiaridade intuitiva e entendimento no sentido de entendimento racional da ‘marcha’ das coisas não devem nunca se confundir” (p. 39). “O sentimento e a lógica são tão diferentes quanto o cérebro e a mente. Saber como e saber quê são tão diferentes quanto a reação retinal e a observação” (p. 59). Salmon (1998) considera que entendimento científico “envolve o

desenvolvimento de uma imagem-do-mundo, incluindo conhecimento dos mecanismos básicos de acordo com os quais ele opera, que é baseado em evidência objetiva” (1998, p. 90). Hempel argumenta que não é uma “espécie intuitiva e altamente subjetiva de entendimento a procurada pela explicação científica, e particularmente pela explicação teórica, mas uma visão objetiva” (1970, p. 107). Bunge (1969) mostra que o entendimento fornecido pela ciência não é direcionado a atender a demanda de satisfação psicológica de esquemas de mundo familiares, próprios de uma pessoa em certo momento. Longe disto, seu objetivo principal é ampliar e racionalizar o conhecimento ordinário. “Tão somente o especialista familiarizado com as idéias técnicas supostas na explicação científica, somente o especialista que as ‘ interiorizou’, pode pretender que conseguiu uma compreensão intuitiva de alguns (nem todos) fatos e idéias” (p. 589-590). Todavia, estes autores concordam que algumas circunstâncias o saber científico pode (por exemplo, via analogia) acomodar-se a descrições mais próximas da experiência diária, mas não tem a finalidade de habilitar todo seu potencial explicativo a essa tarefa.

Parece haver um consenso que se deve tomar o entendimento obtido a partir das explicações científicas como ligado à compreensão dos próprios termos da explicação. Fora desta dimensão, há uma tendência por parte dos filósofos de rebaixamento a fatores psicológicos relativos, dependentes de cada indivíduo em particular, e, portanto fora do escopo da atividade científica. Resumidamente, o tipo de entendimento professado por grande parte dos filósofos repousa no aprofundamento e racionalização cada vez maiores do conhecimento ordinário, via construção de teorias interpretativas que “penetrem nos detalhes mais finos dos mecanismos” (BUNGE, 1969, p. 588). Neste caso, “a única característica de uma explicação que pode exprimir explicações epistêmicas é sua tendência sistemática de produzir crescentemente teorias precisas” (TROUT, 2004, p. 230). Nós concordamos plenamente com esse interesse dos filósofos da ciência em uma noção objetiva de entendimento, uma noção que não varia caprichosamente de indivíduo para indivíduo. Entretanto, as considerações filosóficas sobre as explicações científicas atendem a uma pressão normativa (particularmente a tradição positivista da filosofia analítica do século XX). Quer dizer, os filósofos estão preocupados com quais requisitos, do ponto de vista epistemológico, uma explicação deve atender para que seja logicamente válida. Eles se referem a um empreendimento comunitário.

Quando tratamos de como realmente as pessoas pensam parece pouco viável acreditar na submissão das intenções de entender algum evento a desígnios exclusivamente lógico-formais. Quando cientistas buscam uma explicação, não parece razoável a crença na realização de inferências dedutivas com dezenas de premissas a partir da teoria. Eles precisam de mecanismos que permitam manipular de maneira adequada a teoria quando confrontada com os dados

empíricos ou novos fenômenos (GIERE, 1988). Para avaliar uma teoria, declara Woody (1995), os cientistas necessitam “explorá-la, e, para fazê-lo de forma eficiente, se requer algo que podemos chamar de ‘capturar’ a teoria” (p. 1297). Tipicamente, isto é realizado via a formação de modelos explicativos simplificados os quais são abstraídos ou idealizados de diversas maneiras (uma representação visual, por exemplo). É este processo de desvelar o essencial da estrutura que permite a um agente cognitivo ganhar controle sobre a teoria e entendê-la. Assim, quando os cientistas se apóiam em certo tipo de explicação, eles apelam para um entendimento com validade psicológica. Ao que parece, uma explicação deve ter, pelo menos inicialmente, o poder de *satisfazer* o cientista cognitivamente (GIERE, 1988). Se depois de um processo de análise pela comunidade a explicação se tornar conformidade, tanto melhor para explicação. Neste caso, as variáveis psicológicas parecem recuperar seu valor. Deve-se mencionar que nem todos os resultados científicos geram explicações que satisfazem seus proponentes, por exemplo, Planck e a proposição dos quanta, mas é também esta insatisfação conflituosa que move a continuidade do trabalho em busca de um novo entendimento, reforçando a ideia de que o lado subjetivo e afetivo tem um papel importante na obtenção de explicações.

Importante também frisar que a satisfação cognitiva não está necessariamente associada à compreensão e entendimento no sentido científico ou mesmo escolar do termo. Por um lado, há o aspecto da quotidianidade, que dá muitas vezes um caráter irreflexivo para um fenômeno. Isto é, um fenômeno que se torna corriqueiro depois de explicado não é mais objeto de reflexão, passa a ser entendido através de um critério prático, pois deixa de ser uma questão e apenas faz parte de um mundo que não traz conflito nem instiga o desejo de explicar. Ele é funcionalmente compreendido e gera, em certo grau, um sentimento de compreensão inexplicado, inconsciente. Por outro lado, existe o processo de significação, ou seja, quando se busca dar um significado, dentro de um contexto, usualmente não respaldado em teorias científicas, mas coerente com uma concepção, seja individual ou social. A validação social pode gerar o sentimento de compreensão, de obviedade ou de aparente clareza sobre um fenômeno.

Há ainda o significado atribuído através de uma longa elaboração e racionalização (no sentido psicanalítico do termo) onde a explicação satisfaz a critérios que vão em busca de um apaziguamento interno, e tem tal apaziguamento como o objetivo e como fonte de critérios de valoração.

Como na ciência, a busca por explicações e pelo sentimento de compreensão é feita pelo leigo através de analogias, metáforas, intuição, crenças, recursos a conhecimentos anteriores e a lógica, porém tanto o processo de busca como o objetivo e a profundidade, podem levar a

caminhos e resultados muito diversos do científico. Portanto se faz necessário se compreender melhor o que é o entendimento na educação científica.

Entendimento na educação científica

Na educação científica, *entendimento* não é uma noção de fácil definição. Nós consideramos a abordagem de Smith e Siegel (2004) um ponto de partida prático. Eles reconhecem quatro critérios sobrepostos para entendimento. O primeiro elemento na análise do entendimento é *conectividade*. Se um estudante entende uma noção então isto significa que ele irá perceber as conexões entre idéias, como as idéias se relacionam de maneira não arbitrária na estrutura cognitiva já existente. Esse critério seria facilmente reconhecido na teoria da *aprendizagem significativa* (MOREIRA, 1997). Por exemplo, entender a teoria cinética dos gases requer que os estudantes possam identificar e definir os conceitos envolvidos (gás ideal, pressão, energia cinética, temperatura) e possam providenciar explicações apropriadas das conexões entre esses conceitos. O segundo elemento na análise do entendimento é necessidade de “*fazer sentido*”. Entender alguma coisa é dar sentido ou atribuir significado a ela. Nesse critério, Smith e Siegel tomam emprestada a noção de *plausibilidade* dos educadores da tradição de mudança conceitual (STRIKE e POSNER, 1985). O estudante que entendeu a teoria cinética dos gases pode também “dar sentido” a ela, ou seja, pode explicar como ela se aplica a uma variedade de situações concretas. O terceiro elemento na análise do entendimento é *aplicação*. “Uma pessoa pode dizer que entendeu um conceito ou idéia se pode aplicar esse entendimento apropriadamente em situações acadêmicas ou não acadêmicas (tal como solução de problemas)” (SMITH e SIEGEL, 2004, p. 562). Um estudante que entendeu a teoria cinética dos gases pode apropriadamente aplicá-la na explicação de fenômenos do seu cotidiano. *Justificação* é o quarto elemento na análise do entendimento. Um estudante deve ser capaz de julgar a adequação das evidências que suportam uma afirmação. Com base nesse critério, um estudante deve ser capaz de apreciar no mínimo algumas razões para que a teoria cinética dos gases seja verdadeira, isto é, entender porque aquelas razões contam como evidência que suportam a teoria e poder avaliar os méritos dessa evidência.

Educadores científicos parecem manter um consenso sobre tais critérios. Em adição, há uma consciência bastante clara da existência de distintos níveis de entendimento. Strike e Posner (1985) afirmam que “entender uma idéia requer que ela seja vista dentro de um contexto de outras idéias, isto é, entender impõe achar um nicho dentro da ecologia conceitual” (p. 219). Na opinião deles, um indivíduo pode perceber como uma idéia se aplica na solução de anomalias e situações novas, relacionando-a com outras idéias, e isso se configuraria o entendimento mínimo da idéia. Entretanto, é “possível ao indivíduo entender uma idéia com a qual discorda” (p. 228). Com base

nessas considerações, eles distinguem os níveis de *entendimento mínimo* (requer que uma pessoa inicie a cogitar a possibilidade da veracidade ou adequação de uma nova concepção), *entendimento completo* (o indivíduo vê uma ampla classe de implicações de uma concepção e é hábil em aplicá-la em situações complexas e novas) e *acomodação* (não envolve apenas entendimento, mas um grau de aceitação, pois um indivíduo pode entender completamente uma idéia mais não aceitá-la).

Gilbert et al. (2000), embora não mencionem explicitamente o termo entendimento, postulam alguns graus de *apropriação* de explicações. *Apropriação* seria um julgamento feito pelo questionador em termos dos critérios *adequação*, *relevância* e *qualidade*, analisados acima. Assim uma explicação pode ser: (a) *apropriada*, isto é, a explicação é *adequada* (tem o mesmo significado para o questionador e quem explica), é *relevante* (a explicação atende as necessidades intrínsecas do questionador e as demandas do currículo, podendo incorpora-se aos esquemas existentes), e de *qualidade* adequada (a explicação utilizada não necessita de informação adicional); (b) *inapropriada*, ou seja, a explicação pode não ser *adequada* (o significado da questão pode ser diferente para o questionador e quem explica, ou modo de formular a explicação pode não ter sido o mais adequado ao entendimento do questionador), não ser *relevante* (o questionador pode ver como a explicação tem relação com as especificações do currículo, ou ser desinteressante), ou não ser de *qualidade* adequada; (c) *não-explicação*, significa que diversas escolhas erradas ou falhas de comunicação ocorreram, pois o questionador pode não ver conexão entre a questão que foi perguntada e a explicação recebida, ou explicação pode ter sido irrelevante para os interesses do questionador, ou ainda difícil de entender.

Educadores científicos, ao contrário dos filósofos da ciência, consideram *entendimento* uma função psicológica. Ohlsson (1999), por exemplo, considera que “explicar um evento é reordenar, nos olhos da mente, sua gênese. Isto é feito pela articulação ou execução de um relevante modelo mental” (p. 563). A “rodagem” do modelo revela o comportamento do evento. Assim, se um modelo gera um dado evento, então ele explica aquele evento. Tudo isto ocorre no plano intrapsíquico. Um estudante não pode entender uma idéia até que possa representá-la internamente, em termos de imagens ou rede de proposições encadeadas. Então, entendimento decorre da competência de representar internamente uma estrutura para os eventos e, concomitantemente, conectar essa estrutura com algumas implicações no mundo, pelo menos em certo nível (GILBERT e BOULTER, 1998; LIN e CHIU, 2007).

Por outro lado, educadores científicos, em geral, desconsideram a conexão entre variáveis subjetivas/afetivas e entendimento no relato do que é entendimento, embora considerem que elas influenciem a aprendizagem.

Explicações, entendimento, subjetividade e afetividade

Como vimos nas seções anteriores, mesmo considerando o fenômeno do entendimento um fenômeno de cognição, educadores científicos se apóiam amplamente nos critérios epistemológicos para definir entendimento e a qualidade de uma explicação na escola. Entretanto, parece-nos que estes requisitos devem se conectar a aspectos subjetivos/afetivos quando se descreve entendimento e aceitação de uma explicação, tanto em cientistas quanto em não-cientistas. Nesta seção evidenciaremos algumas características de tal conexão. Usaremos o termo conexão para explicitar a distinção de abordagens que postulam a influência de fatores subjetivos/afetivos na aprendizagem (PIAGET, 1981; POSNER et al., 1982; PINTRICH, et al., 1993; WADSWORTH, 1998; ALSOP e WATTS, 1997, 2000; ALSOP, 2005). Em nossa opinião, conexão tem poder semântico maior e denota a inseparabilidade entre subjetividade/afetividade e cognição.

A discussão da conexão entre aspectos subjetivos/afetivos, explicações e entendimento tem um recente, mas complexo e interdisciplinar histórico. Algumas tradições de pesquisa por diferentes razões, sob vocabulários distintos, em diversos níveis e relativamente independentes delineiam esta conexão.

Uma destas tradições de pesquisa advém da epistemologia. Maturana (2001b), por exemplo, aborda a inserção de variáveis subjetivas/afetivas no explicar. Para ele, “a emoção fundamental, que especifica o domínio de ações no qual a ciência acontece como atividade humana, é a curiosidade, sob forma do desejo ou paixão pelo explicar” (p. 133). Este desejo ou paixão seria o mesmo que move cientista e leigos. Uma proposição tornar-se-ia de fato uma explicação quando cessa o desejo. Sobre os critérios usados para legitimar uma explicação, Maturana diz que a ciência se constitui como um corpo de conhecimento, pelo uso particular e consistente dos critérios de validação adotados. Os leigos, ao contrário, não são cuidadosos e usam critérios diferentes para validar suas explicações e afirmações, mudando o domínio fenomênico, muitas vezes de forma inconsciente. As operações da vida cotidiana de não-cientistas, entre elas o ato de explicar, na opinião de Maturana, dependeriam de diferentes emoções, diferentes desejos de consistência e dos diferentes desejos de refletir a respeito do que fazem. Pois, “nenhuma proposição explicativa é uma explicação em si. É a aceitação do observador que constitui a explicação, e o que acontece com o observador, em geral, é que ela aceita ou rejeita uma explicação de maneira inconsciente” (2001a, p. 41). Assim, se uma proposição não é aceita como reformulação da experiência não é uma explicação. Então, os critérios de validação da explicação são subjetivos e conseqüentemente existem “tantos tipos de explicações quantos critérios de aceitabilidade possam ser usados para aceitar respostas explicativas” (2001b, p.162). Assim, não

são as coerências operacionais que definem a Física como um domínio explicativo da experiência, determinantes na avaliação, caso o indivíduo não seja membro da comunidade científica, uma vez que podem operar outras coerências distintas no momento da avaliação. Mesmo não oferecendo um relato dos mecanismos que tornam isto possível, Maturana atribui ao indivíduo, com toda sua subjetividade/afetividade, e não a critérios epistemológicos (por exemplo, precisão ou suporte empírico) a intuição sobre o que é ou não uma explicação.

A *teoria da coerência emocional*⁴ de Paul Thagard (THAGARD, 2001, 2002, 2005; ZHU e THAGARD, 2002) parece evidenciar alguns elementos dos mecanismos que permitem a aceitação de uma explicação tanto em cientistas quanto em não-cientistas. Thagard procurou mostrar como julgamentos de coerência cognitiva podem gerar julgamentos emocionais. Segundo Thagard, coerência não é apenas um assunto de aceitar ou rejeitar a conclusão, mas também envolve conectar um valor emocional positivo ou negativo a proposição, objeto, conceito, ou outra proposição. Assim, uma explicação é justificada se as inferências maximizam coerência, mas isso é acompanhado de um julgamento emocional. Ao aplicar sua hipótese a explicação de Watson e Crick sobre a estrutura do DNA, Thagard diz que ela foi altamente coerente com as evidências disponíveis e com o objetivo dos biólogos de entender as bases genéticas da vida. “Esta alta coerência gerou não apenas um julgamento que a hipótese poderia ser aceita, mas também uma harmoniosa atitude emocional que a hipótese era bela. Coerência fez Watson, Crick, Jacob e outros muito felizes” (2002, p. 246). De acordo com este autor, uma explicação não apenas tem um status cognitivo de ser aceita ou rejeitada, ela também envolve um status emocional nesta avaliação.

Outra tradição de pesquisa, representada pelos psicólogos desenvolvimentais, tem interesse em compreender a formação de teorias em crianças, cientistas e no cotidiano. Os pesquisadores desta área argumentam que explicação pode ser interpretada como a marca fenomenológica distintiva de operação do sistema-de-formação de teorias humano (GOPNIK e MELTZOFF, 1997). A fenomenologia das explicações envolveria “conjuntamente a procura de explicação e o reconhecimento do fato que uma explicação foi alcançada” (GOPNIK, 1998, p. 108). Sobre a procura de explicações, Schwitzgebel (1999) postulou a existência de uma *curiosidade de busca-de-explicação* associada com padrões de afeto, frente a fenômenos ou eventos que carecem de explicação. Caracteristicamente esse padrão de afeto estaria ligado ao desenvolvimento, teste, e

⁴ Coerência pode ser entendida como a maximização da satisfação de múltiplas restrições. Por exemplo, quando nós damos sentido a um texto, um quadro, uma pessoa, ou um evento, nós precisamos construir uma interpretação que se ajuste com informações avaliáveis mais do que outras interpretações. A melhor interpretação é aquela que fornece o relato mais coerente daquilo que nós queremos entender, considerando-se peças de informação que se ajustam uma com as outras e peças de informação que não se ajustam umas com as outras. Por exemplo, quando conhecemos alguém, precisamos considerar diferentes combinações de hipótese que ajustadas em conjunto oferecem o sentido do comportamento da pessoa.

refutação de esquemas ou idéias que levarão a satisfazer a curiosidade de busca-de-explicação. No relato de Schwitzgebel, curiosidade seria a característica chave das explicações. Schwitzgebel sugere ainda que sua hipótese pode ser empiricamente verificada se “observarmos os padrões de afeto e excitação associados ao surgimento e resolução da curiosidade de busca-de-explicação” (p. 481). Gopnik (1998) foi além, sugerindo que alguns aspectos da fenomenologia da explicação podem ser considerados como um tipo de “emoção básica”. Neste sentido, diz que “nós não apenas conhecemos uma explicação quando temos uma, nós queremos explicações, e nós somos satisfeitos quando as conseguimos” (p. 109). Para Gopnik, a fenomenologia das explicações parece ser admiravelmente um domínio geral. Seres humanos procuram e são satisfeitos por explicações de objetos físicos, padrões em eventos, seres vivos, agentes psicológicos e grupos sociais. Seres vivos procuram e são satisfeitos por explicações em termos de leis físicas, processos biológicos, razões, ou regras. Gopnik defende que a fenomenologia da explicação envolveria a procura pela explicação (‘hmm’) e o reconhecimento que uma explicação foi realmente alcançada (‘aha’). Em português esses processos podem ser expressos na forma de ‘por quê?’ e ‘porque’. Emoções como surpresa, interesse, curiosidade são intimamente relacionadas com o ‘humm’. Por outro lado, o ‘aha’ “é freqüentemente acompanhado pela expressão de alegria” (p. 110). Em resumo, “encontrar uma explicação para alguma coisa é acompanhado de uma satisfação que vai além do meramente cognitivo” (p. 109). Assim, Gopnik sugere que “explicação está para cognição como orgasmo está para reprodução” (p. 102). O mais distintivo nos resultados de investigação trazidos deste campo é que essa fenomenologia envolve reações subjetivas/afetivas tanto na busca quanto na aceitação da explicação.

A tradição de pesquisa sobre *criatividade* aborda a questão de maneira similar aos psicólogos desenvolvimentais (ver SHAW e RUNCO, 1994). Tal aproximação ocorre principalmente na interpretação da *iluminação*, o estágio do processo criativo em que a solução do problema ocorre ou é reconhecida. Este momento é comumente reconhecido como a experiência do “aha” no processo criativo. Russ (1993) nota que “prazer afetivo com a solução de um problema pode ser um importante reforço quando a experiência do ‘aha’ ocorre”, e mais do que isto, “afeto positivo pode ajudar o indivíduo reconhecer a solução correta quando a combinação certa ocorre” (p. 15). Os pesquisadores desta área tendem a reforçar a idéia que iluminação e aceitação, para cientistas ou não, são modos afetivos exclusivamente positivos, raramente, ou nunca, surgem sentimentos negativos nestes momentos. Eles freqüentemente afirmam que por esta razão podemos “esperar que exista um impulso em direção o esse modo exclusivamente positivo que talvez seja semelhante ao impulso biológico natural para o orgasmo” (SHAW, 1994, p. 34). Esta comparação permite, uma vez mais, perceber como a compreensão dos pesquisadores do

processo criativo do mecanismo de aceitação de explicações é muito similar aquela dos psicólogos desenvolvimentais.

A última tradição de pesquisa a ser analisada, a dos educadores científicos, tem sido tímida em esboçar a conexão dos domínios cognitivos e subjetivos/afetivos nos relatos do que são explicação e entendimento. Por exemplo, Arruda et al. (2004) desenvolveram a noção de *aprendizagem satisfatória*. Estes pesquisadores definiram aprendizagem satisfatória como “aquela que leva a um saber, ou seja, a um conhecimento com investimento inconsciente, com ‘sabor’ inconsciente” (p. 206). Para Arruda et al., ela tem duas características essenciais que dizem respeito à vivência inconsciente: “envolve o gozo do aprendiz com a experiência e, portanto, introduz uma marca estável e implica, simultaneamente, a originalidade do sujeito, logo introduz uma novidade” (p. 206). Mais do que uma aprendizagem com sentido, envolve também “um movimento contínuo de busca, acoplado à satisfação com o exercício” (p. 206). Laukenmann et al. (2003) argumentam que no ambiente natural de aprendizagem estudantes em estado de bem-estar, descrito pelas emoções alegria e satisfação, apresentam alta performance. Eles sugerem que “experimentar alegria em aulas de física relaciona-se primordialmente ao (bem sucedido) processo de aprendizagem” (p. 503). Custódio e Pietrocola (CUSTÓDIO e PIETROCOLA, 2004a; 2007), sugerem que o *sentimento de entendimento*, “a satisfação intelectual afetiva que provoca a aceitação de uma explicação, ou o sentimento que foi conquistado *entendimento* do fenômeno” (CUSTÓDIO, 2007, p. 88), é um componente importante na aceitação de uma explicação escolar.

Depreende-se das conclusões observadas por todas estas tradições, que o problema explicação/entendimento envolve relações subjetivas/afetivas capazes de oferecer a intuição de que uma explicação pode ser aceita, além de qualquer virtude objetiva que uma explicação possa ter.

Implicações para o ensino

O objetivo primário deste trabalho foi realizar uma análise extensiva dos conceitos de explicação e entendimento na ciência e na educação científica. Nós verificamos que na ciência explicações e entendimento são interpretados em termos de critérios de validação comunitária, sem preocupação com virtudes cognitivas ou subjetivas/afetivas. Quando o debate é levado para o âmbito da educação científica, observamos que embora haja reconhecimento da atuação do indivíduo pensante, permanece uma recorrência excessiva aos critérios de validação oriundos da filosofia da ciência e as variáveis subjetivas/afetivas ainda são pouco consideradas. Na última seção recorreremos há proposições de alguns investigadores da *filosofia da ciência, psicologia*

desenvolvimental, criatividade e educação científica a fim de conectar o relato do que são explicações e entendimento com a dimensão subjetiva/afetiva.

Toda nossa reflexão leva a considerar que existem distintos critérios de validação de explicações e que nem sempre os de caráter epistemológico são supremos, principalmente na escola. Isto se torna claro quando atentamos ao fato que a evolução histórica da ciência levou-a a um nível de abstração, e formalização que supera a fenomenologia dos sentidos e da percepção, criando um distanciamento do senso comum. A ciência criou linguagens cujos significados e sentidos parecem ser mais e mais acessíveis apenas a iniciados. Criou ainda critérios explicativos que são distantes daqueles que são critérios ligados ao sentimento de compreensão do não iniciado. Não se pode deixar de frisar que o sentimento de compreensão é fruto de um julgamento axiológico do indivíduo imerso em seu meio social, e em sua conjuntura sócio histórica. O sentimento de compreensão é distinto para alunos em fases diferentes, para pesquisadores com maturidade diferente, é distinto para professores e ou para leigos. O que satisfaz enquanto compreensão faz também parte do processo de socialização e aculturação. Isto é, o grau de compreensão de um indivíduo e o que ele define com entendimento depende de sua dimensão subjetiva assim como da sua história pessoal em sociedade.

Neste sentido, existem dimensões diversas e freqüentemente distantes entre a compreensão do indivíduo em sua subjetividade e a compreensão “objetiva” que ele mesmo manifesta social e culturalmente. Existem ainda caminhos diferentes, objetivos distintos e sentimentos profundos no percurso até a compreensão, que nem sempre aparecem no discurso explicativo final, mas que fazem parte intrínseca do sentimento de compreensão. Se por um lado a filosofia talvez não tenha que se preocupar com os diferentes olhares e percursos ditados pela subjetividade, a reflexão sobre o ensino não pode fechar os olhos para tal. Neste sentido temos que enfatizar os objetivos sociais e individuais envolvidos no processo, pois estes definem critérios. Existem diferenças fundamentais nos critérios sobre o que é aceitável ou não como explicação. Critérios que vão do mais subjetivo ao mais objetivo se contrapõe ao longo do percurso escolar criando conflitos que tem sua essência muitas vezes ignorada. Clarificar os critérios explicativos, talvez seja uma forma de trazê-los à tona e compreende-los no contexto escolar e também uma forma de clarificar obstáculos. Os alunos não nem sempre compartilham mesmos objetivos que os professores, mas buscam cumprir aquilo que intuíram como contrato didático, o que não significa necessariamente ser o entendimento e o sentimento de compreensão através das explicações científicas. Isto claramente sugere a necessidade de pesquisas empíricas.

Ademais, é necessário levar em conta que o problema epistêmico, diz respeito à adequação de um dado conhecimento diz respeito à adequação do mesmo a objetos externos, e que o

problema da aprendizagem diz respeito à adequação de um dado conhecimento aos objetos internos que populam a cabeça do sujeito. Só a inserção deste sujeito num contexto externo e intersubjetivo o leva a transformar o problema de aprendizagem em um problema também epistêmico. Critérios como coerência, plausibilidade conectividade, generalidade aplicabilidade são grupo social dependentes, portanto carecem da mediação do professor para o estabelecimento de relações consistentes entre os processos de validação internos do aluno e aqueles considerados científicos.

Vale ainda ressaltar que o enfoque de Gilbert et al. (1998a; 1998b; 2000) mostra a necessidade de consistência entre questão e explicação. Uma resposta será enquadrada na categoria de explicação se atender, ao menos parcialmente, a expectativa, por parte de quem pergunta (Professor em situação de sala, pesquisador), de uma resposta específica, isto é, aceitável para o tema. Na escola, professores de ciências, não raro, são obrigados a inferir quais as questões que deram origem as explicações descritivas, interpretativas e causais que, em geral, devem ensinar. Todavia, apresentam severas dificuldades em formular questões e identificar a explicação apropriada (RUTHERFORD, 1995). Uma vez que professores convivem com sérias restrições a respeito da natureza das explicações, o que se pode esperar dos estudantes, cujo despreparo cognitivo é mais sensível? Em sala de aula há poucas oportunidades para os estudantes exporem suas próprias explicações intencionais, e para ampliar a compreensão que o torne capaz de interpretar e “controlar” o mundo natural, são necessárias questões que demandam distintos tipos de explicação (causal, interpretativa, preditiva) (CONCARI, 2001). O teor desta consideração requer investimentos didáticos para que os alunos reconheçam na ciência o poder de responder a questões bem formuladas sobre os fenômenos naturais. Ou, em outras palavras, uma melhoria na apropriação de explicações que os estudantes recebem. Isto significa “a provisão de explicações que são adequadas, são mais relevantes, e que são de mais cuidadoso julgamento de qualidade” (GILBERT et al., 2000, p. 204).

Nós defendemos a idéia que as explicações científicas longe de apenas participarem da descrição do mundo, fornecem um quadro teórico a partir do qual é possível alcançar entendimento de fenômenos (CUSTÓDIO e PIETROCOLA, 2004b). Além disto, julgamos essencial inserir elementos da dimensão subjetiva/afetiva na interpretação do entendimento propiciado pelas explicações. Temos a impressão que estes fatores quando conduzidos adequadamente no processo de instrução podem gerar vínculos mais duradouros com os saberes científicos. Vínculos resistentes parecem bem ser o caso das concepções alternativas (PFUNDT e DUIT, 2006). Concepções alternativas ajustam-se a maneira própria de pensar dos estudantes e, mesmo longe de obedecer a critérios rigorosos de qualidade, parecem configurarem-se como

verdadeiras explicações e saciar seu desejo de entendimento do mundo natural. Como sugere Roberts (1999), “existe algo além da estrutura lógica de uma explicação que determina a preferência de estudantes por uma explicação particular” (p. 92).

Assim, um investimento em aprofundar a compreensão dos mecanismos subjetivos/afetivos que permitem a aceitação deste tipo de explicação e de explicações com valor científico serviria de um bom apoio para responder as seguintes questões: O que os alunos preferem nas explicações? Quais critérios aplicados para escolha de uma explicação? Qual a importância da causalidade? Qual a importância dos entes ontológicos neste processo? Qual a relação com os critérios epistemológicos? Quais são os reais valores subjetivos/afetivos em jogo?

Tomando como hipótese a forte conexão entre variáveis cognitivas e subjetivo/afetivas no processo de compreensão e entendimento de explicações científicas e ou escolares, sugerimos que é interessante investigar a emergência de padrões de comportamento de natureza afetiva em ações que envolvam a apropriação ou formulação de explicações. A caracterização de padrões afetivos e correlacioná-los diretamente como entendimento de explicações é um tópico que necessita ainda um trabalho adicional tanto teórico quanto empírico. Apenas como exemplo, pode-se investigar a emergência de padrões afetivos positivos como alegria, satisfação e interesse em episódios didáticos que envolvam apropriação e ou formulação de explicações e correlacioná-los com o nível e o grau do entendimento. Pode ser que caso estes padrões não sejam ativados, se evidencie que o aluno não tenha aceitado a explicação, ou que ela esteja em um nível mínimo de entendimento, por exemplo, o status I (inteligível) de Hewson e Thorley (1989).

Pietrocola (2001) afirma que enxergar o conhecimento científico ensinado na escola como meio eficaz de entender a realidade que nos cerca garantiria vida pós-escolar ao mesmo, permitindo a construção de vínculos afetivos que seriam duradouros. Isto porque os conhecimentos que usualmente nos acompanham por toda vida são aqueles úteis ou que geram algum tipo de prazer. Assim, desvelar os mecanismos subjetivos/afetivos do fenômeno do entendimento parece inevitável na busca de que os alunos construam apropriações menos efêmeras das explicações escolares.

Referências Bibliográficas

- ACHINSTEIN, P. *The nature of explanation*. New York: Oxford University Press, 1983.
- ALSOP, S. (Ed.). *Beyond Cartesian dualism: encountering affect in the teaching and learning of science*. Dordrecht: Kluwer, 2005.
- ALSOP, S.; WATTS, M. Sources from a Somerset Village: a model for informal learning about radiation and radioactivity. *Science Education*, v. 81, n. 6, p.633-650, 1997.

_____. _____. Facts and feelings: exploring the affective domain in the learning of physics. *Physics Education*, v. 35, n. 2, p. 132-138, 2000.

ARRUDA, S. M.; VILLANI, A.; UENO, M. H.; DIAS, V. S. Da aprendizagem significativa à aprendizagem satisfatória, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 21, 2004, 194-223.

BACHELARD, G. *Le nouvel esprit scientifique*. Paris: Ed. Alcan, 1934.

BREWER, W. F. Scientific theories and naive theories as form the mental representation: psychologism revived. *Science e Education*, v.8, n. 5, p. 489-505, 1999.

BREWER, W. F.; CHINN, C. A.; SAMARAPUNGAVAN, A. Explanation in scientists and children. *Minds e Machines*, v. 8, p. 119- 136, 1998.

BUNGE, M. *Teoria e realidade*. São Paulo: Perspectiva, 1974.

BUNGE, M. *Causality and Modern Science*. New York: Dover Publications Inc., 1979.

BUNGE, M. *La investigación Científica*. Barcelona: Ariel, 1969.

CONCARI, S. B. Las teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias. *Ciência e Educação*, Bauru, v.7, n.1, p.85-94, 2001.

CUPANI, A. A tecnologia como problema filosófico: três enfoques. *Scientiae Studia*, São Paulo, v.2, n.4, p.493-518, 2004.

CUPANI, A.; PIETROCOLA, M. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o Ensino de Ciências. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 19, n. 1, p. 97-122, 2002.

CUSTÓDIO, J. F. *Explicando explicações na educação científica: domínio cognitivo, status afetivo e sentimento de entendimento*. Tese de doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CUSTÓDIO, J. F.; PIETROCOLA, M. Explicação Científica e Entendimento. In: VI CONGRESO LATINOAMERICANO DE HISTORIA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA, 2004, Buenos Aires. *Anais...* Buenos Aires: SLHCT, 2004a.

_____. _____. Princípios nas ciências empíricas e o seu tratamento em livros didáticos. *Ciência e Educação*, Bauru, v. 10, n. 3, p. 383-399, 2004b.

_____. _____. Status afetivo e sentimento de entendimento: critérios de aceitação de explicações escolares. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: ABRAPEC, 2007. 1. CD-ROM.

De REGT, H. W. Discussion Note: making sense of understandig. *Philosophy of Science*, v. 71, n. 1, p. 98-212, 2004.

DUTRA, L. H. *Introdução a teoria da ciência*. Florianópolis: editora da UFSC, 1998.

ELÍADE, M. *Mito e realidade*. São Paulo: Perspectiva, 2000.

FRIEDMAN, M. Explanation and Scientific Understanding. *Journal of Philosophy*, v. 71, p. 5-19, 1974.

GIERE, R. N. *Explaining science: a cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press, 1988.

GILBERT, J.K; BOULTER, C.J. Aprendendo ciências através de modelos e modelagem. In: COLINVAUX, D. (Org). *Modelos e educação em ciências*. Rio de Janeiro: Ravil, 1998, p.12-34.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C.J.; RUTHERFORD, M. Models in explanations, part 1: horses of courses? *International Journal of Science Education*, v. 20, n. 1, p. 83-97, 1998a.

- GILBERT, J. K.; BOULTER, C.J.; RUTHERFORD, M. Models in explanations, part 2: Whose voice? Whose ears? *International Journal of Science Education*, v. 20, n. 2, p. 187-2003, 1998b.
- GILBERT, J. K.; BOULTER, C.J.; RUTHERFORD, M. Explanations with models in science education. In: GILBERT, J. K; BOULTER, C. J. (Eds). *Developing models in science education*. Dordrecht: Kluwer, 2000, p. 193-208.
- GOPNIK, A. The scientist as child. *Philosophy of Science*, v. 63, n. 4, 485-514, 1996.
- _____. A. Explanation as orgasm. *Minds and Machines*, v. 8, p. 101-118, 1998.
- GOPNIK, A.; MELTZOFF, A. N. *Words, thoughts, and theories*. Cambridge: MIT Press, 1997.
- HANSON, N. R. *Observación y explicación: guía de la filosofía de la ciencia*. Madrid: Alianza editorial, 1985.
- HEMPEL, C. *Filosofia da ciência natural*. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1970.
- _____. Explicação científica. In: MORGENBESSER, S. (org). *Filosofia da ciência*. 3. ed. São Paulo: Cultrix, 1979. p. 159-169.
- HEWSON, P. W.; THORLEY, N. R. The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, v. 11, p. 541-553, 1989.
- KITCHER, P. Explanatory unification. *Philosophy of Science*, v.48, p. 507-531, 1981.
- _____. Explanatory unification and the causal structure of the world. In: KITCHER, P.; SALMON, W. (Eds.). *Scientific explanation: Minnesota studies in the philosophy of science*, v. 13. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1989, p. 410-505.
- LACEY, H. *Valores e atividade científica*. São Paulo, Discurso Editorial, 1998.
- LAUKENMANN, M.; BLEICHER, M.; FUß, S.; GLÄSER-ZIKUDA, M.; MAYRING, P.; VON RHÖNECK; C. (2003). An investigation of the influence of emotional factors on learning in physics instruction. *International Journal of Science Education*, v. 25, p. 489-507, 2003.
- LIN, J.-W.; CHIU, M.-H. Exploring the characteristics and diverse sources of students` mental models of acids and bases. *International Journal of Science Education*, v.29, n. 6, p. 771-803, 2007.
- LIPTON, P. *Inference to the best explanation*. London:Routledge, 1991.
- MARTINS, I; OGBORN, J.; KRESS, G. Explicando uma explicação. *Ensaio*, v. 1, n. 1, 1999.
- MATURANA, H. *Emoções e linguagem na educação e na política*. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2001a.
- _____. *Cognição, ciência e vida cotidiana*. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2001b.
- MOREIRA, M. A. Modelos mentais. *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 3, n. 2, p. 1-39, 1997.
- OHLSSON, S. Theoretical commitment and implicit knowledge: why anomalies do not trigger learning, *Science e Education*, v. 8, n. 5, p. 559-574, 1999.
- PFUNDT, H. e DUIT, R. *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*. 4th. edition. Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel, 2006.
- PIAGET, J. *Intelligence and affectivity: their relationship during child development*. Califórnia: Palo Alto, 1981.
- PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo. In: PIETROCOLA, M. (Org). *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa abordagem integradora*. Florianópolis : Editora da UFSC, 2001. p. 9-32.

PINTRICH, P. R.; MARX, R. W.; BOYLE, R. A. Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, v. 63, p.167-200, 1993.

POPPER, C. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Cultrix, 1985,

POSNER, G.; STRIKE, K.; HEWSON, P; GERTZOG, W. Accomodation of a scientific conception; toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, n.2, p. 211-227, 1982.

ROBERTS, R. *What makes an explanation a good explanation? Adult learners' criteria for acceptance of a good explanation*. Master's thesis. Faculty of Education - Memorial University of Newfoundland, 1999.

RUSS, S. W. *Affect and creativity: the role of affect and play in the creative process*. Hillsdale, NJ : Laurence Erlbaum, 1993.

RUTHERFORD, M. Explanations of coulor. In: INTERNATIONAL HISTORY, PHILOSOPHY AND SCIENCE TEACHING CONFERENCE, 3, Minneapolis. *Proceedings...*Minneapolis: University of Minnesota, 979-986, 1995.

SALMON, W. The importance of scientific understanding. In: _____. *Causality and explanation*. New York: Oxford University Press, 1998, p. 79-91.

SCHWITZGEBEL, E. Children's theories and the drive to explain. *Science e Education*, v. 8, n. 5, p. 457-488, 1999.

SHAW, M. P. Affective components of scientific creativity In: SHAW, M. P.; RUNCO, M. A. (Eds.). *Creativity and Affect*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation, 1994, p.3-45.

SHAW, M. P.; RUNCO, M. A. (Eds.). *Creativity and Affect*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation, 1994.

SMITH, M. U.; SIEGEL, H. Knowing, believing, and understanding: what goals for science education? *Science e Education*, v. 13, n. 6, p. 533-582, 2004.

STRIKE, K.A.; POSNER, G.J. A Revisionistic theory of conceptual change. In: DUSCHL, R.; HAMILTON, A. (Eds.). *Philosophy os Science, Cognitive Science and Educational Theory and Practice*. Albany (NY): Suny Press, 1992, p.147-176.

THAGARD, P. How to make decisions: Coherence, emotion, and practical inference. In: MILLGRAM, E. (Ed.). *Varieties of practical inference*. Cambridge, MA: MIT Press, 2001. p. 355-371.

THAGARD, P. The passionate scientist: Emotion in scientific cognition. In: CARRUTHERS, P.; STICH, S.; SIEGAL, M. (Eds.). *The cognitive basis of science*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, p. 235-250.

THAGARD, P. The emotional coherence of religion. *Journal of Cognition and Culture*, v. 5, p. 58-74, 2005.

TROUT, J. D. Scientific explanation and the sense of understanding. *Philosophy of Science*, v. 69, n. 2, p. 212-233, 2002.

ZHU, J.; THAGARD, P. Emotion and action. *Philosophical Psychology*, v. 15, p. 19-36, 2002.

WADSWORTH, B. J. *Inteligência e afetividade da criança na teoria de Piaget*. São Paulo: Pioneira, 1998.

WOODY, A. The explanatory power of our models: a philosophical analysis with some implications for science education. In: INTERNATIONAL HISTORY, PHILOSOPHY AND

SCIENCE TEACHING CONFERENCE, 3, Minneapolis. *Proceedings...*Minneapolis: University of Minnesota, p. 1295-1304, 1995.

JOSÉ FRANCISCO CUSTÓDIO possui graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina (1999), mestrado em Educação pela Universidade Federal de Santa Catarina (2002) e doutorado em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2007). É ex-professor da Universidade do Estado de Santa Catarina. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência na área de Educação, atuando principalmente nos seguintes temas: Explicações, modelos, cognição, afetividade, critérios de qualidade de explicações e Sentimento de Entendimento.

FREDERICO FIRMO DE SOUZA CRUZ possui graduação em Bacharelado em Física pela Universidade de São Paulo (1976), mestrado em Física pela Universidade de São Paulo (1979) e doutorado em Física pela Universidade de São Paulo (1987). Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Teorias de Muitos Corpos, sistemas bosônicos e fermiônicos. Atuando principalmente nos seguintes temas: teoria de condensados bosônicos, métodos não perturbativos de teoria de Campos aplicados a física de Condensados, movimentos coletivos, método de coordenadas geradoras. Atua também na área de Ensino de Física com temas ligados à modelização e a fenomenologia no ensino de física, ensino de física moderna e história e epistemologia da ciência.

MAURÍCIO PIETROCOLA PINTO DE OLIVEIRA possui graduação em Licenciatura em Física pela Universidade de São Paulo (1984), mestrado em Ensino de Ciências (Modalidade Física e Química) pela Universidade de São Paulo (1988) e doutorado em Epistemologie et Histoire des Sciences pela Universite de Paris VII - Universite Denis Diderot (1992). Atualmente é professor Titular (MS-6) da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo e membro correspondente internacional da equipe RESHEIS (Recherches Epistémologiques et Historiques sur les Sciences Exactes et Institutions scientifiques). Foi membro do International Commission on Physics Education (2002- 2005; vice-presidente: 2005-2008). Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Métodos e Técnicas de Ensino, atuando principalmente nos seguintes temas: ensino, física, formação de professores, ensino médio e alfabetização científica.