

MODELOS E EXPLICAÇÕES: A CONSTRUÇÃO DA REALIDADE E SUAS BASES EMOCIONAIS.

MODELS AND EXPLANATIONS: THE CONSTRUCTION OF THE REALITY AND ITS EMOTIONAL BASES

Talita Raquel Luz Romero¹
Maurício Pietrocola²

¹Instituto de Física/Faculdade de Educação/Universidade de São Paulo, talitaraquel@yahoo.com.br

²Faculdade de Educação/Universidade de São Paulo, mpietro@usp.br

Resumo

Apesar da credibilidade atribuída à ciência, é comum estudantes insistirem em produzir explicações a situações cotidianas por meio de concepções simplistas, espontâneas e algumas vezes ingênuas. Ao diferenciarmos o conceito 'intuitivo de explicação' do conceito de 'explicação científica' é possível compreender porque, muitos alunos, preterem estas últimas em relação às primeiras. Ao contrapormos estas definições com relatos de alunos que optaram por seguir carreiras técnico-científicas, buscamos identificar quais os critérios de validação de explicações. Assim, poderemos compreender qual o tipo de relação estudantes que não adentrarão nesta comunidade podem estabelecer. Ou seja, de que forma um estudante sem expectativas em carreiras técnico-científicas incorpora tais conhecimentos.

Palavras-chave: explicação científica, afetividade, validação de explicações.

Abstract

In spite of the credibility attributed to the science, are common students to insist on producing explanations to daily situations using conceptions simplistic, spontaneous and sometimes naive. To differentiate the intuitive concept of explanation of the concept of 'scientific explanation' it is possible to understand why, many students, ignore these last ones in relation the first ones. When opposing these definitions with stories of students who opted to follow technician-scientific careers, we try to identify the criteria of validation of explanation. Then, we will be able to understand which type of relation can establish students who will not choose technician-scientific careers. In other words, witch forms a student without expectations in technician-scientific careers incorporates such knowledge.

Keywords: scientific explanation, validation of explanations, affectivity.

INTRODUÇÃO

Segundo o Dicionário Aurélio, explicação significa esclarecimento de um ato para o justificar, desagravo, ato de explicar, de tornar a exposição inteligível ou clara. Neste contexto, explicar significa fazer compreender, tornar inteligível. Estas definições exprimem o que a maioria das pessoas entende por explicar, pois apesar de considerarmos esta como sendo uma construção intelectual tão fundamental que a torna “muito difícil de ser explicada”, as pessoas tem intuições relativamente claras sobre o que ela é ou não. No entanto, filósofos e cientistas tem uma concepção de explicação, denominada científica, que difere desta, cotidiana e intuitiva. Como conseqüência, apesar de constantemente cientistas serem procurados pelos meios de comunicação para darem confiabilidade a reportagens e produtos, é comum encontrarmos pessoas que desconsideram o conhecimento científico ao expressarem entendimento sobre o mundo. Atitude esta, que nos faz questionar qual o tipo de relação possível de ser estabelecida pelos estudantes com o conhecimento científico, visto que muitos deles não adentrarão nesta comunidade. Ou seja, de que forma um estudante sem expectativas em carreiras técnico-científicas incorpora tais conhecimentos.

Custódio e Pietrocola (2002) ao iniciarem a investigação sobre estes aspectos, perceberam que mesmos estudantes com domínio de conhecimentos científicos insistem em produzir respostas a situações cotidianas através de concepções ingênuas e espontâneas. Supomos que, parte do problema está relacionado ao fato das explicações científicas, que chegam as escolas, passarem por três etapas de “transposição didática” (CHEVALLARD, 1985); e, por fim, terminarem limitadas ao “contexto da justificação”, aquele no qual o conhecimento científico é compartilhado. Excluindo assim, o “contexto da descoberta”, ou seja, as motivações dos cientistas e seus condicionantes psicológicos (HOLTON, 1979). Concordamos que, crenças e emoções, convivem lado a lado com a atividade cognitiva, condicionando e obstruindo o pensamento dos estudantes. Assim, deveriam, pelo menos, ser aludidas no planejamento de qualquer estratégia didática.

Ao buscarmos entender a produção e utilização do conhecimento científico a partir das dimensões racional e afetiva, cabe-nos questionar quais os critérios utilizados pelos alunos na validação das explicações. Para tanto, procuramos inicialmente compreender o que caracteriza uma explicação científica. Em seguida, recorreremos ao estudo de bibliografias que procuram entender a produção e utilização do conhecimento científico a partir das dimensões racional e afetiva. Por fim, através de entrevistas com alunos de Graduação da Universidade de São Paulo, ou seja, alunos que em sua história pessoal receberam explicações significativas que os conduziram a seguir carreiras técnico-científicas, determinar quais os critérios utilizados por estes para validar tais explicações e as admitirem como reais.

EXPLICAÇÃO CIENTÍFICA

Implicações Filosóficas na Educação

Proveniente de uma concepção positivista da ciência, o conceito de explicação científica começou a fortalecer-se no meio científico com a introdução, de forma definitiva, da linguagem quantitativa (matemática) na física. Cientistas como Galileu e Newton mostraram evidente preocupação em dar tratamento matemático aos fenômenos que estudavam.

Sabemos que o Positivismo é um rótulo novo, para uma nova fase de desenvolvimento do empirismo, que se trata de uma doutrina filosófica proposta por Francis Bacon no século XVII e afirmada por John Locke, David Hume e George Berkeley, no século XVIII. Segundo esta corrente filosófica, o conhecimento procede principalmente da experiência comum, não metódica, e tudo o que o homem conhece é aquilo que percebe através de seus sentidos, em particular os da visão e do olfato. O nome, Positivismo, nasceu em 1830 na Escola do socialista utópico Saint-Simon (1760-1825), e ganhou fortuna com Augusto Comte, o pensador protótipo do movimento, sobretudo na França. Derivado do latim positum (= posto, o que está posto diante, situado), significa descritivamente o que se observa, ou experimenta (ROVIGATTI, 1987).

O pensamento de Galileu e de seus sucessores foi dominado pela idéia de que o Mundo complexo dos sentidos (irreal) tem por trás um Mundo simples (real), regido por leis naturais que podem ser traduzidas na linguagem matemática por meio de cálculos e medidas obtidos através da experiência. Nestas circunstâncias começou a prevalecer a concepção positivista da ciência, que propõe que o objetivo desta seja somente o da investigação das leis matemáticas, renunciando à investigação das causas e reduzindo a explicação científica à descrição dos fatos ou fenômenos por meio de leis. O que pode ser elucidado com a descrição da natureza da filosofia positivista, feita por Augusto Comte (1973), em sua obra “Curso de Filosofia Positiva”, com referência ao exemplo da gravitação newtoniana:

“Assim, para citar o exemplo mais admirável, dizemos que os fenômenos gerais do universo são explicados, tanto quanto podem ser, pela lei de gravitação newtoniana; porque de um lado, essa bela teoria nos mostra toda a imensa variedade dos fatos astronômicos, como constituindo apenas um único e mesmo fato considerado de diversos pontos de vista: a tendência constante de todas as moléculas umas em relação às outras, na razão direta de suas massas e na razão inversa do quadrado das distâncias [...] Quanto a determinar o que são nelas próprias essa atração e essa gravidade, quais são suas causas, são questões que consideramos insolúveis, não pertencendo mais ao domínio da filosofia positiva, e que abandonamos com razão à imaginação dos teólogos ou à sutileza dos metafísicos [...]” (p. 17).

A dispensa da investigação das causas culminou na imagem reducionista e instrumentalista da explicação científica, da qual Berkeley foi precursor. Imagem esta que, segundo Augusto Comte, é o terceiro e mais evoluído estado histórico de nossos conhecimentos. É o estado científico ou positivo, aquele em que se renuncia às causas e graças ao raciocínio e observação, têm-se leis bem definidas e explicações em termos reais.

No entanto, apesar de, atualmente, esta definição de explicação científica mostrar-se enraizada no ambiente educacional, as visões mais atuais da filosofia e da ciência, valoriza-se

também o lado criativo da elaboração de “quadros da realidade” que dão possíveis explicações e nos quais nos guiam através do emaranhado de fatos observados. Einstein (1980) na conclusão da obra “A Evolução da Física” diz que:

“A ciência não é apenas uma coleção de leis, um catálogo de fatos não relacionados entre si. É uma criação da mente humana, com seus conceitos e idéias livremente inventadas. As teorias físicas tentam formar um quadro da realidade e estabelecer sua conexão com o amplo mundo das impressões sensoriais” (p. 235).

Como Einstein, filósofos da atualidade, como Bunge (1989) atacam o apego ao caráter puramente lógico, porque este leva a considerar que explicar se resume a demonstrar e que explicações são leis e desconsidera que a ciência “é uma criação humana”. Conforme se mostrou em trabalhos anteriores vinculados a este projeto, para introduzirmos a noção de explicação atual, é mister a discussão dos sistemas de idéias capazes de responder às perguntas que fazemos sobre o mundo, a saber; as teorias, no nível de propriedades mais gerais do real (sua constituição, suas relações causais), e os modelos, na interlocução com o real e com aplicações teóricas destinadas a garantir o entendimento sobre fatos e situações específicas no mundo (PIETROCOLA, 1999).

Estritamente falando, modelos desenvolvem a potencialidade da teoria, são construídos a partir de imagens e analogias que apreendem os fenômenos. Como representações do mundo as teorias determinam as explicações que podem ser elaboradas, já os modelos determinam a maneira pela qual são determinadas as classes de fenômenos vinculados a teoria, e emprestam a generalidade da teoria a explicações peculiares. Modelos estabelecem os vínculos às restrições necessárias ou às estruturas internas, mesmo quando não sejam diretamente observadas. O processo de construção de modelos é uma atividade cognitiva fundamental no cientista (CUSTÓDIO, 2005).

A conexão entre modelos e explicações é central na compreensão da atividade científica. Levemos em conta a opinião de Giere (1988, apud CUSTÓDIO, 2005, p. 44):

“Explicar é uma atividade humana praticada muito antes do surgimento da ciência moderna [...] pessoas empregam vários tipos de esquemas [modelos mentais] dando explicações e as compreendendo [...] tudo que é distintivo sobre a explicação ‘científica’[...] é que ela emprega modelos desenvolvidos pela ciência [...] O que a ciência fornece para as ‘explicações científicas’ é um conjunto bem - autenticado de modelos. Como as pessoas empregam esses modelos no processo de construção ou compreensão de explicações depende de um contexto extra -científico” (p. 105).

Um ensinamento notável, e crucial a nossas intenções é o seguinte: tanto indivíduos comuns quanto cientistas usam modelos na geração de explicações. No caso dos indivíduos, modelos são representações de caráter mental, internas ao aparelho cognitivo de cada sujeito, que dão a ele acesso a apreensão e inferência do mundo externo. Já para cientistas, modelos são representações externas submetidas a contrastação empírica e aval de uma comunidade. Grande parte do trabalho sobre modelos, na ciência cognitiva e na educação científica toma como

pressuposto a analogia entre estas duas instâncias. Isto não significa dizer, que os modelos mentais das pessoas são estruturalmente iguais àqueles formalizados pela comunidade científica.

Neste ínterim, reforça-se a necessidade de compreender quais os critérios dos estudantes, para validar as explicações científicas, uma vez que as tradicionalmente apresentadas nas escolas são alicerçadas por antigos conceitos filosóficos (positivistas) de explicação científica, que as resume à “formulizações” e resultam numa dissociação do Mundo Escolar com o Mundo Cotidiano. Conforme se concluiu em estudos anteriores, para uma parcela significativa de alunos, algumas explicações da ciência são menos “reais” do que mitos e crenças por isso, insistem em produzir explicações a situações cotidianas através de concepções ingênuas e espontâneas (PINHEIRO, 2003).

Para identificarmos estes critérios, utilizamos o protocolo de entrevista desenvolvido por Custódio (2005) e o aplicamos a dez alunos de graduação, sendo estes seis do Instituto de Física e quatro do Instituto de Química. Durante o desenvolvimento das entrevistas buscamos sempre encontrar situações que seriam interessantes para exemplificar nossa revisão bibliográfica e principalmente para nos auxiliar na identificação de outros critérios. Nas dez entrevistas feitas conseguimos seguir a mesma seqüência de idéias apresentadas no quadro abaixo.

Tabela 01: Roteiro base para entrevista semi-estruturada.

Metodologia de pesquisa. Roteiro base para entrevista semi-estruturada	
Parte A	1) Quais motivos o levaram a fazer o curso de Física (relação com o conhecimento)? 2) Havia algum assunto (fenômeno, tecnologia) que o intrigava durante o Ensino Médio?
Parte B	1) “Lembro-me ainda hoje do meu primeiro dia de aula de ciências. Na escola pública que freqüentava, ciências era uma disciplina ministrada na quinta série. Eu tinha 11 anos recém-feitos e guardo na memória os sentimentos de entusiasmo e alegria quando a professora nos contava que a matéria era constituída de átomos e moléculas. Não me recordei bem dos detalhes do conteúdo ensinado. Se ela apresentara a diferença entre gases e líquidos, ou se discutira sobre a água, o ar ou outra substância qualquer. Seria pedir muito à memória 30 anos depois. Porém, os sentimentos continuam vivos até hoje” (Maurício Pietrocola). Na sua história existe algo semelhante, uma explicação que fez sentido para você, isto é, deu certa satisfação (alegria) em conhecer? (cite mais de uma se houver). 2) “Existe qualquer coisa nestas imagens abundantes [presentes no poema] que atinge cada um de nós e tem efeito de transmitir uma mensagem pessoal a cada um de nós [...] Pergunte a si próprio qual imagem que, para si, salta do poema como um foguete e espalha uma chuva brilhante de luz no seu intelecto” (J. Bronowski). Esta frase é capaz de expressar o que você sentiu em relação à explicação recebida? Comente.

Além disso, dezesseis alunos da turma de Metodologia do Ensino de Física I da Universidade de São Paulo, de 2005, voluntariamente elaboraram um relato contando “Por que escolhi física?”. Sob orientação do professor, os alunos atentaram-se aos motivos relacionados com sua história escolar e conseqüentemente as explicações fornecidas para os fenômenos que os intrigavam.

Supusemos que para estes vinte e seis alunos, interessados em seguir carreiras científicas, as explicações científicas costumeiramente apresentadas nas escolas (ou seja, as fórmulas e leis), embora pobres, justificar-se-iam no fato de haver expectativa de continuidade nos estudos, deste modo, o encontro com os significados ocorreria gradualmente numa etapa de formação posterior. O que levou estes estudantes a aprenderem ciências e, conseqüentemente, expressarem entendimento sobre o mundo merece uma discussão mais ampla do que tentar adicionar a estrutura conceitual do aluno critérios racionais de escolha entre o conhecimento científico e o senso comum. Principalmente porque sabemos que o enfoque racional é satisfatório para a manutenção do “contrato didático” (BROUSSEAU, 1986) estabelecido no contexto escolar, mas fora da escola, parecem existir outros critérios.

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DE EXPLICAÇÕES

Os alunos que participaram da entrevista, assim como os que escreveram sobre sua escolha pela graduação em Física, são os ditos experts, estudantes que ao contrário da maioria, preterem o senso comum em relação aos conceitos científicos. Estes indivíduos incorporam em um alto grau os conhecimentos científicos e isso fica evidente ao tentarem explicar os motivos que os levaram a seguir carreiras técnico-científicas.

“A princípio as ciências e a história sempre me fagavam pelos seus fascínios naturais, e ainda me recorde de uma de minhas primeiras experiências mentais, da qual ainda não sabia classificar como uma da área da física [...] Onde imaginei um pássaro voando dentro de um carro em movimento, e todas as conseqüências disto, como referenciais [...]”. (José – aluno de Licenciatura em Física)

“A cada ser humano é inato às questões que são pertinentes ao funcionamento de tudo que os cerca [...] A minha escolha [por física] refloresceu de saber como todo este mundo funciona, não preendi atenção de como funcionavam alguns objetos ‘pequenos’ que permeava minha infância, mas tentava compreender como este ‘objeto’ tão imenso que esta presente em todos os dias, em todas as horas, a cada minuto e com o passar de cada segundo permeia a minha vida. E é nesta fase é que as minhas pré-concepções de mundo vêem tentar ludibriar ou sanar-me, em partes, as muitas indagações sobre ele”. (Luis – aluno de Licenciatura em Física)

Ambas as falas evidenciam o que Larkin (1983) concluiu ao comparar experts e novatos (indivíduos com uma representação mental ingênua dos problemas) durante a resolução de problemas. Eles têm a habilidade de construir representações físicas que contêm entidades imaginárias, como, por exemplo, força e momento. Porque os experts têm um segundo modelo mental da situação problema, com atributos que envolvem operadores que correspondem a leis físicas, resultando em explicações mais coerentes.

Custódio (2005), cita a pesquisa desenvolvida por Nersessian (1995) que mostra que a maneira pela qual experts abordam problemas novos articula-se à capacidade deles trabalharem com modelos mentais genéricos. Para ela, uma aproximação entre as práticas do pensamento dos cientistas e a forma como os estudantes novatos de Física resolvem problemas resultaria em estratégias pedagógicas mais eficientes. Neste sentido, situações pedagógicas seriam mais

efetivas se permitissem aos estudantes pensarem e praticarem a modelagem de forma semelhante aos cientistas, através da modelagem construtiva; que pode ser entendida como um processo de raciocínio integrador que emprega modelagem visual e analógica e experiências de pensamento, criando e transformando representações informais dos problemas.

A necessidade de critérios de validação de explicações é um requisito indispensável na educação científica. Mas, conforme Gilbert et al. (2000), apontam, uma explicação pode ser considerada apropriada quando a questão é perguntada e a explicação é providenciada. No entanto, isto pode mudar a luz de considerações adicionais, tanto por parte do questionador quanto por parte daquele que explica, mesmo tratando-se de uma educação científica onde a visão do formador deve prevalecer.

Para Gilbert et al. (2000), uma explicação pode ser avaliada como apropriada considerando-se três componentes. O primeiro deles é a adequação de uma explicação, que é uma declaração sobre a relação entre o tipo de questão feita e o tipo de explicação confeccionada, ou seja, é a exigência que a pergunta tenha o mesmo significado para quem pergunta e quem responde.

A relevância, segundo componente definido por Gilbert et al., de uma explicação é a medida do grau no qual ela reúne as necessidades do questionador; e, 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. Por exemplo, no ensino tradicionalmente diretivo, na maioria das vezes, os estudantes valorizam as explicações dadas pelos professores e as convertem em estratégias de êxito puramente escolar, porque elas serão cobradas nos exames. Ainda neste nível, entra em jogo o contexto social no qual a explicação é recebida. Uma questão sobre cores em um contexto da aula de 'Física' desencadearia uma explicação causal em termos de comprimento de onda da luz, enquanto no contexto da aula de 'Química' ela envolveria excitação de elétrons em átomos e moléculas. Assim, é lícito afirmar que uma explicação baseada em uma formulação típica da disciplina de química é pouco relevante para as necessidades do questionador (estudantes) em Física. Note as justificativas apresentadas por um dos alunos que escreveu porquê escolheu estudar Física e outro aluno que optou pelo curso de Química:

“Escolhi a área de física, pois tinha afinidade nas matérias de exatas, e no colégio as minhas notas em matemática e física sempre foram altas e nunca tive dificuldade de obtê-las pelo meu pai ser contador [...] Sendo estimulado pelos meus pais, fui levado a física, pois sabia que no campo do trabalho esta carreira está em alta, pelo baixo número de profissionais nesta área, e possui diversificados tipos de campos que ela pode nos levar, assim com física médica, física econômica, pesquisa, educação e outros”. (Pedro - aluno de Licenciatura em Física)

“Escolhi bacharelado em química porque fiz colegial técnico de química e sempre tirei boas notas porque gostava muito. Fiz estágio em um laboratório e depois fui trabalhar em outra área, mas mesmo assim, sempre quis voltar e estudar por prazer, e quem sabe, arrumar uma ocupação melhor”. (Esdras – aluno de Bacharelado em Química)

Podemos notar que a relevância das explicações dos professores de Física, dos alunos entrevistados, era atestada a nível extrínseco, principalmente porque estas denotavam a facilidade que o aluno tinha em compreender as explicações dadas pelos professores e convertê-las em estratégias de êxito escolar que este ampliou para o êxito profissional. Propomos que este primeiro nível para o critério denominado por Gilbert et al (2000) como sendo o da relevância, seja subdividido em facilidade que resulta em sucesso escolar e sucesso profissional. Para Pedro, o nível extrínseco de relevância das explicações visava sucesso profissional, e isto fica evidente quando ele conta que:

“Com o tempo de universidade pude ampliar meu horizonte, agora já defini o meu plano de carreira. Vou terminar a licenciatura em física, para ter uma carreira e oportunidade de emprego como professor, e vou prestar economia [...] a física-econômica é uma área nova que ganhou bastante espaço na área de trabalho [...] e descobri que é um dos trabalhos mais respeitados no mundo dos negócios”. (Pedro - aluno de Licenciatura em Física)

No segundo nível, o intrínseco, o questionador deseja saber ou compreender alguma coisa por seus próprios motivos. Seguindo o desiderato comum a todos educadores, Gilbert et al (2000) concebem a aprendizagem vinculada ao interesse do questionador. Com efeito, o estudante teria o genuíno desejo de conhecer como o mundo natural trabalha e ser capaz de julgar em que medida se pode interferir e modificar o ambiente. Neste caso, o suposto estudante valorizaria as explicações, pois as julgaria relevantes as suas necessidades pessoais.

“Enfim, entrei na física, acreditando que iria entender os porquês das coisas. Decepionei-me logo no primeiro ano quando descobri que o máximo que os físicos que conheci até hoje só se interessam por descrever a natureza com uma linguagem matemática sofisticada, e a idéia, o sentido de tudo aquilo fica cada vez mais escondido. Acabei dando mais valor para a matemática, não explicava nada, mas também nunca se propôs a isso, o mesmo comecei a pensar sobre a biologia. Já a física me irritava cada vez mais [...] Por quê acontece isso? Por causa da conservação do momento angular. Porque a luz se propaga sempre em linha reta. Porque a energia tende a ser mínima em um sistema. Porque o calor sempre flui do corpo mais quente para o mais frio [...] Sempre tinham uma resposta pronta para o desconhecido como se o conhecessem intimamente. Aquilo não me convencia, me incomodava o fato de acharem que estavam totalmente certos e que a natureza não poderia ser diferente porque a questão já estava completamente encerrada e ‘compreendida’[...] Então, comecei a tirar algumas dúvidas de física e matemática da minha irmã mais nova que está no colegial. Fiquei muito impressionada, eu precisava de muito mais para explicar alguma coisa do que para aprendê-la e com isso eu aprendia cada vez mais. Com isso, voltei a buscar respostas para minhas perguntas junto com as da minha irmã. Não acho que descobri algo de novo, mas aprendi a relacionar as idéias que estavam fragmentadas na minha cabeça e decidi mudar para a licenciatura”. (Maria - aluna de Licenciatura em Física)

Maria tem uma história muito interessante. Após prestar vestibular para medicina e muito ponderar, descobriu que o que realmente a impressionava era a Física. Conta que para se distrair do fracasso de não ter passado no vestibular para medicina, estudava Física e

Matemática. Seu relato deixa bem claro quais as explicações considera relevante, ou seja, aquelas que não se resumem a idéias positivistas da Ciência. Pois, suas perguntas têm significado intrínseco, ou seja, um nível mais profundo de necessidade que envolve critérios emocionais / afetivos. Isto evidencia que as explicações fornecidas pelos professores de Maria não eram adequadas a suas expectativas, ou seja, as respostas às perguntas por ela feitas não tinham o mesmo significado. Este relato também evidência que a apropriação de uma explicação pode mudar a luz de considerações adicionais, tanto por parte do questionador quanto por parte daquele que explica.

Tendo em mente estes dois níveis de relevância, podemos analisar o caso particular de João:

“Sempre tive facilidade com números, fazia contas com bastante rapidez e dificilmente tinha dificuldade em aprender um novo conceito. Esta facilidade com matérias de exata se contrastava com a dificuldade que tinha nas matérias humanas, nunca entendia direito o que a professora queria e muitas vezes não conseguia os resultados que esperava. Então fui adquirindo confiança ao lidar com números, e a física veio de maneira a completar o que eu queria, pois parecia explicar muitas coisas e dar explicações que faziam sentido e não eram como explicações de história, que não parecia ter consenso nenhum, cujas únicas explicações erradas eram minhas. Então pensei em entrar na faculdade de física para entender melhor o mundo”. (João - aluno de Licenciatura em Física)

Podemos notar neste extrato a presença dos dois níveis de relevância, pois o nível extrínseco foi o responsável pelo aparecimento de sua escolha em nível intrínseco. Podemos notar isto quando lemos que a Física é o complemento de seu sucesso escolar decorrente de sua facilidade com números e que ao contrário do que acontecia quando participava das aulas de História, suas explicações Físicas resultavam em sucesso escolar, pois eram consideradas, pelo professor, corretas. Isto fica mais evidente no decorrer do relato, quando este conta que após três anos cursando o bacharelado com habilitação em astronomia, desistiu ao perceber que a relevância extrínseca daquelas explicações escolares não era suficiente.

Finalmente, 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: i) Providenciar explicações para os problemas salientes no momento e ser compatível com o grosso de conhecimento científico (ela deve apresentar plausibilidade); ii) Usar conceitos em menor quantidade e mais amplo alcance do que sua predecessora (ela deve apresentar parsimônia); iii) Ser aplicável a maior gama possível de contextos (ela deve apresentar generalização); iv) Levar ao maior número de predições de sucesso (ela deve ser frutífera).

Na primeira condição entra em cena o embate com conhecimentos prévios no campo de conhecimento focalizado. Uma explicação deve ser plausível, quando comparada com os conhecimentos existentes. As demais condições são influenciadas por demandas a serem encaradas ou oportunidades procuradas e consideradas para o futuro. Ora, uma explicação apropriada deve ser aquela que trás uma frutífera, parsimoniosa e generalizável contribuição para estes desafios (Gilbert et al., 1998b).

Durante a análise dos relatos e das entrevistas, a necessidade de se incluir afetividade como um critério de validação das explicações que conduziram os alunos a seguirem carreiras técnico-científicas, ficou evidente. Pois percebemos que as explicações científicas que embasam as explicações no âmbito escolar na maioria das vezes restringem-se ao “contexto da justificação”, aquele no qual o conhecimento científico é compartilhado, reservado a natureza lógica e ao domínio racional, ou seja, ao âmbito da “ciência pública”. No entanto, muitas das explicações intrínsecas ansiadas pelos alunos são do “contexto da descoberta” (HOLTON, 1979), do âmbito das motivações dos cientistas, onde suas crenças e emoções entram em jogo. Exatamente por isso, muitas das explicações que geraram o “sentimento de entendimento” em alguns dos alunos entrevistados estão desvinculadas das explicações escolares e fortemente relacionadas a buscas por explicações em livros de História da Ciência, em amigos e estudos pessoais.

“O professor de física do colégio não ensinava nada, apenas dava fórmulas. Então meu marido [que fazia física na USP] me ensinava em casa e me dava alguns exercícios para fazer e eu fui me apaixonando pela física que ele me ensinava, talvez contagiada pela paixão com a qual ele ensinava. No ano seguinte eu estava muito desanimada com o colégio, queria entrar na faculdade logo e só queria se fosse na USP, mas ainda faltavam dois anos do ensino médio, foi então que, conversando com meu marido e decidimos que eu ia fazer cursinho naquele ano e terminaria os dois anos do ensino médio no supletivo[...] Mas a idéia de frequentar a escola me deixava desanimada, então resolvi fazer supletivo a distancia [...] Eu sempre visitava o Instituto de Física, adorava o ambiente, adorava ficar andando por lá, e num desses dias assisti ao show da física e fiquei encantada”. (Sandra - aluna de Licenciatura em Física)

“Aos 14 anos descobri o mundo dos livros, gostava muito do assunto da historia da ciência e dois livros que me chamaram muita atenção foram, ‘Seis lições de física’ do autor americano Richard Feynmann e ‘Alice no mundo do Quantum’, foi quando houve um primeiro interesse mais específico pela física”. (Paulo - aluno de Licenciatura em Física)

“Foi no cursinho que alguns professores comentavam à respeito de alguns cientistas, como Galileu e Newton. Fiquei cada vez mais interessado e sempre procurava saber mais à respeito da forma como eles obtiveram os resultados. Então foi pela história que me interessei pela física”. (Tiago - aluno de Licenciatura em Física)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme havíamos suposto, para os alunos entrevistados, as explicações científicas costumeiramente apresentadas nas escolas (ou seja, as fórmulas e leis), embora pobres, se justificam no fato de haver uma relevância intrínseca ou extrínseca, além de uma expectativa de continuidade nos estudos. Deste modo, o encontro com os significados ocorre gradualmente numa etapa de formação posterior ou, como no caso de alguns, através da tentativa de explicar para outro. Pois, durante a elaboração de explicações que o aluno, inconscientemente, pondera os

critérios de qualidade e constrói explicações que o levam a aprender Ciências e, conseqüentemente, expressar entendimento sobre o mundo através desta. Cada um dos critérios, exemplificados pelas experiências de alunos que pretendem seguir carreiras técnico-científicas, merece uma discussão mais ampla do que tentar adicionar a estrutura conceitual do aluno critérios racionais de escolha entre o conhecimento científico e o senso comum. Principalmente porque sabemos que o enfoque racional de relevância extrínseca é satisfatório para a manutenção do contrato didático estabelecido no contexto escolar, mas fora da escola, principalmente, parecem existir outros critérios.

Byington (2003) mostra que a falência da pedagogia puramente racional se explica por esta permanecer no nível superficial, o que explica a alta percentagem de esquecimento daquilo que aprendemos e podemos acrescentar, a persistência do uso de explicações intuitivas em detrimento das científicas. Assim, em nossa opinião, as pesquisas aqui apresentadas oferecem um apoio teórico poderoso à investigação do domínio cognitivo das explicações. Entretanto, o domínio afetivo das explicações é desvalorizado, senão ignorado. Resultado, “alunos quase exclusivamente racionais, com a cabeça dissociada do corpo, pairando no ar como um zepelim inflado de conceitos e palavras, cujo saber não tem corpo, sociedade, natureza, imagens e emoções” (BYINGTON, 2003, p. 21).

Maturana (2001) defende que uma explicação é, também, uma resposta a uma disposição emocional a partir do qual nós somos estimulados procurá-la; de outro, a interdependência entre nossas emoções e os critérios utilizados para validarmos nossas explicações, e quão maleáveis os últimos podem ser guiados pelas primeiras. Sendo assim, um relato, minimamente satisfatório, de explicações no contexto escolar deve, ao menos, postular a origem da necessidade humana de explicar.

REFERÊNCIAS

- Bunge, M. *La investigación Científica*. Barcelona: Ariel, 1989.
- Brousseau, G. Fondements et methods de la didactique des mathématiques. In: *Recherches en didactique des Mathématiques*, vol 7, nº 2, Grenoble, 1986.
- Byington, C A B. *A construção amorosa do saber – o fundamento e a finalidade da pedagogia simbólica Junguiana*. Ed. Religare, São Paulo, 2003.
- Chevallard, I. *La trasposition didactique; du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1985.
- Comte, A. *Curso de filosofia positiva*. Coleção Os Pensadores, São Paulo: ed: Abril Cultural, 1973.
- Custódio, J. F. e Pietrocola, M. 2002, Princípios de conservação e construção de modelos por estudantes do ensino médio. In: *VIII EPEF(Encontro de Pesquisa em Ensino de Física)*, , Sociedade Brasileira de Física, Águas de Lindóia, 2002.
- Custódio, J. F. *Compreendendo explicações na educação científica: Domínio cognitivo, Padrões de Afetividade e Sentimento de Entendimento*. Dissertação de doutorado da Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2005. (In prelo)

- Einstein, A. *A evolução da física*. Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1980, p. 235.
- Giere, R. N. *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago: The University of Chicago Press, 1988.
- Gilbert, J.K e Boulter, C.J. Aprendendo ciências através de modelos e modelagem. In: *Modelos e educação em ciências*. Colinviaux, D. (org). Rio de Janeiro: Ravel, 1998.
- Gilbert, J. K.; Boulter, C.J. e Rutherford, M. *Models in explanations, part 1: horses of courses?* IJSE, vol. 20, no. 1, pp. 83-97, 1998a.
- Gilbert, J. K.; Boulter, C.J. e Rutherford, M. *Models in explanations, part 2: Whose voice? Whose ears?* IJSE, vol. 20, no. 2, 1998b.
- Gilbert, J. K.; Boulter, C.J. e Rutherford, M. Explanations with models in science education. In: *Developing models in science education*. GILBERT, J.K e BOULTER, C.J. (eds). Dordrecht: Kluwer, 2000.
- Holton, G. *A imaginação científica*. Rio de Janeiro: Zahar, 1979.
- Larkin, J. K. The role of problem representation in physics. In: *Mental models*. GENTNER, D. & STEVENS, A. L. (eds). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. pp. 75-98, 1983.
- Maturana, H. *Emoções e linguagem na educação e na política*. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2001.
- Nersessian, N. *Should physicist preach what they practice? Constructive modeling in doing and learning physics*. Science and Education, vol 04, n° 03, 1995.
- Pietrocola, M. Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino científico através dos modelos. In: *Investigação em Ensino de Ciências*, vol 04, n° 03, 1999.
- Pinheiro, T. F. *Sentimento de realidade, afetividade e cognição no ensino de ciências*. Dissertação de doutorado, UFSC - Florianópolis, 2003.
- Rovigatti, R. L. *O papel da explicação causal no ensino de física*. Dissertação de mestrado. USP – IF - São Paulo, 1987.