

Acomodação de uma Concepção Científica: Em direção a uma Teoria de Mudança Conceitual¹

GEORGE J. POSNER, KENNETH A. STRIKE, PETER W. HEWSON, e WILLIAM A. GERTZOG
Departamento de Educação, Cornell University, Ithaca, New York 14853

Tornou-se lugar comum a crença de que o aprendizado é o resultado da interação entre o que se ensina ao aluno e suas idéias ou conceitos atuais.¹ Isso de forma alguma significa uma nova visão do aprendizado. Suas raízes podem ser rastreadas até os primeiros psicólogos Gestalt. Todavia, os primeiros estudos de Piaget (1929, 1930) das explicações das crianças de fenômenos naturais e os seus estudos mais recentes de causalidade (Piaget, 1974) tiveram, talvez, o maior impacto sobre o estudo nos quadros interpretativos que os estudantes trazem a situações de aprendizado.

Essa pesquisa levou ao estudo bastante disseminado das concepções cientificamente errôneas dos estudantes². A partir desses estudos, e particularmente do recente trabalho de pesquisadores, como Viennot (1979) e Driver (1973), desenvolvemos um entendimento mais detalhado de algumas dessas concepções errôneas e, de forma mais importante, porque elas são "altamente robustas" e tipicamente sobrevivem ao ensinamento que as contradiz (Viennot, 1979, p. 205).

Todavia, a identificação de concepções errôneas ou, falando mais amplamente, "quadros alternativos" (Driver & Easley, 1978), e o entendimento de algumas razões para sua persistência, praticamente desenvolve uma visão razoável de como as idéias atuais de um estudante interagem com idéias novas incompatíveis. Apesar de Piaget (1974) ter desenvolvido tal teoria, parece haver uma necessidade para um trabalho que se concentre "mais sobre o conteúdo atual das idéias do aluno e menos sobre as supostas estruturas lógicas subjacentes" (Driver & Easley, 1978, p. 76). Diversos estudos de pesquisa foram efetuados (Nussbaum, 1979; Nussbaum & Novak, 1976; Driver, 1973; Erickson, 1979) que investigaram "as substâncias das crenças e conceitos reais mantidos pelas crianças" (Erickson, 1979, p. 221). Todavia não houve uma teoria bem articulada que explicasse ou descrevesse as dimensões substantivas do processo pelo qual os conceitos centrais de organização das pessoas variam de um conjunto de conceitos para outro conjunto, incompatível com o primeiro. Acreditamos que uma fonte importante de hipóteses concernente a essa questão é a filosofia contemporânea da ciência, pois uma questão central de recente filosofia da ciência é como os conceitos mudam sob o impacto de novas idéias ou novas informações. Nesse artigo nós primeiro delineamos um modelo geral de mudança conceitual que é amplamente derivado da filosofia da ciência atual, porém que acreditamos possam iluminar o aprendizado também. Em seguida ilustramos alguns aspectos deste modelo a partir de entrevistas com estudantes que estudam relatividade especial em física. Finalmente, derivamos algumas implicações pedagógicas.

Nosso compromisso central nesse estudo é que o aprendizado é uma atividade racional. Isto é, o aprendizado é chegar fundamentalmente a compreender e aceitar idéias porque elas são vistas como inteligíveis e racionais. O aprendizado é então uma espécie de inquirição. O estudante pode fazer julgamentos na base de evidência disponível. Obviamente, não segue daí que as variáveis motivacionais ou afetivas sejam desimportantes para o processo de aprendizado. A reivindicação de que o aprendizado é uma atividade racional destina-se a concentrar a atenção no que seja aprendido, não naquilo de que o aprendizado dependa. O aprendizado está preocupado com idéias, sua estrutura e sua evidência para elas. Não se trata simplesmente da aquisição de um conjunto de respostas corretas, um repertório verbal ou um conjunto de comportamentos. Acreditamos que segue que o aprendizado, como a inquirição, é melhor visualizado como um processo de mudança conceitual. A questão básica é relativa a como as concepções dos estudantes alteram-se sob o impacto de novas idéias e nova evidência.

¹ Este artigo é parcialmente baseado em um trabalho intitulado "Relatividade Especial de Aprendizado: Um Estudo de Problemas Intelectuais Enfrentados pelos Alunos Universitários", apresentado na Conferência Internacional em Comemoração do 100º Aniversário de Albert Einstein, Novembro 8-10, 1979 na Universidade Hofstra.

² Consultar, por exemplo, Ausubel (1968).

³ Consultar Driver e Easley (1978) para uma análise excelente de pesquisa nessa área.

Accommodation of a scientific conception
toward a theory of conceptual change.
Science Education, 66, 2, 211-227,
1982

A Base Epistemológica

As visões contemporâneas na filosofia da ciência sugerem que há duas fases distinguíveis da mudança conceitual na ciência. Usualmente, o trabalho científico é feito contra o pano de fundo de comprometimentos centrais que organizam a pesquisa. Os comprometimentos centrais definem problemas, indicam estratégias para se lidar com eles e especificam critérios para o que conta como soluções. Thomas Kuhn (1970) chama esses comprometimentos centrais³ de “paradigmas”, e a pesquisa dominada por paradigma “ciência normal”. Imre Lakatos (1970) rotula os comprometimentos centrais dos cientistas como o seu “núcleo duro teórico” e sugere que tais comprometimentos gerem “programas de pesquisa” desenhados para aplicá-los a, e defendê-los da, experiência.

A segunda fase da mudança conceitual ocorre quando tais comprometimentos centrais requerem modificação. Aqui o cientista é confrontado com um desafio para as suas assunções básicas. Se o inquirição é para proceder, o cientista deve adquirir novos conceitos e uma nova forma de ver o mundo. Kuhn chama esta nova espécie de mudança conceitual de uma “revolução científica”. Para Lakatos é uma alteração nos programas de pesquisa.

Nós acreditamos que haja padrões análogos de mudança conceitual no aprendizado. Algumas vezes os estudantes usam conceitos existentes para lidar com fenômenos novos. A essa variante da primeira fase de mudança conceitual chamamos *assimilação*. Com frequência, todavia, os conceitos atuais dos estudantes são inadequados para permitir-lhes compreender com sucesso fenômenos novos. Então o estudante deve substituir ou reorganizar os seus conceitos centrais. A esta forma mais radical de mudança conceitual podemos chamar *acomodação*.⁴

Esta visão de inquirição e aprendizado envolve um aspecto adicional. Acreditamos que a inquirição e o aprendizado ocorram contra o pano de fundo dos conceitos atuais do educando. Toda vez que o estudante encontra um novo fenômeno ele deve confiar nos seus conceitos atuais para organizar sua investigação. Sem tais conceitos é impossível para o estudante fazer uma pergunta sobre o fenômeno, saber o que contaria como resposta para a questão, ou para distinguir características do fenômeno relevantes de irrelevantes. Sem conceitos, o mundo é, e permanece, a “confusão barulhenta e florescente” de William James. Tomando emprestada uma frase de Stephen Toulmin (1972), referimo-nos àqueles conceitos que governam uma mudança conceitual como uma “ecologia conceitual”.⁵

Nosso trabalho concentrou-se nas espécies de mudanças conceituais radicais que descrevemos como acomodações. Como ocorrem as acomodações? Trabalhos recentes em filosofia da ciência sugerem que essa questão seja dividida em duas. A primeira relaciona-se às condições sob as quais uma acomodação é provável de ocorrer. Quando os indivíduos acharão razoável assumir uma reorganização mais importante dos seus conceitos atuais ou de substituir um conjunto de conceitos centrais por um outro? Mesmo em uma reorganização conceitual de maior monta, todavia, nem todos os conceitos são substituídos. As pessoas retêm muitos dos seus conceitos atuais, alguns dos quais funcionarão como guias para o processamento da mudança conceitual. Alguns podem então perguntar que tipos de conceitos tendem a governar o processo de acomodação. Isto é, de fato, pedir as características das ecologias conceituais que governam o processo de mudanças conceituais de maior monta. Portanto, expressamos nossa teoria de acomodação em resposta a duas questões:

- 1) Sob que condições um conceito central chega a ser substituído por um outro?
- 2) Quais são os aspectos de uma ecologia conceitual que governam a seleção de novos conceitos?

³ Neste artigo os termos “comprometimento”, “conceitos” e “concepções” são equivalentes. Apesar desses termos (particularmente os últimos dois) referirem-se a níveis diferentes de conceitualização, nós não distinguimos entre os níveis neste artigo.

⁴ Essas palavras são de Piaget, porém ao usá-las nós não pretendemos nenhum comprometimento com suas teorias.

⁵ Nós entendemos esta visão em oposição direta ao empiricismo tradicional. O comprometimento central do empiricismo de que não há coisa alguma na mente que não esteja primeiro nos sentidos, requer que as pessoas sejam capazes de aprender alguma coisa em ausência total de conceitos anteriores. Acreditamos que isso seja impossível. A mente que começou como um tablete em branco assim permaneceria, pois lhe faltariam os meios para investigar a experiência.

Condições de Acomodação

A visão da ciência na qual este trabalho é baseado difere dos seus predecessores empiricistas em formas que são sugestivas concernentes às condições de acomodação. A maior parte das variedades de empiricismo tendem a ver as razões para aceitação de uma determinada teoria científica como a capacidade da teoria em gerar predições confirmadas. Visões mais recentes, entretanto, sugerem que uma visão adequada das razões para a aceitação de uma nova teoria deve ter em conta o caráter dos problemas gerados pela sua predecessora e a natureza da concorrência da nova teoria.

Um tema bastante comum na literatura mais recente é que os conceitos centrais raramente diretamente vinculam qualquer coisa com relação a experiência. Diversamente, eles sugerem estratégias e procedimentos por meio dos quais os fenômenos são assimilados. Os conceitos centrais são, portanto, não julgados em termos de sua capacidade imediata para gerar predições corretas. Eles são julgados em termos de seus recursos para a solução dos problemas atuais. Em termos de Lakato (1970), os programas de pesquisa não são confirmados nem refutados. Ao invés disso, eles são progressivos ou degenerativos. Os conceitos centrais são prováveis de ser rejeitados quando tiverem gerado uma classe de problemas que aparentemente não tenham a capacidade de resolver. Uma visão competitiva será aceita quando parecer que apresenta potencial para resolver tais problemas e para gerar uma linha profícua de pesquisas adicionais.

Também é importante notar que os conceitos centrais de uma pessoa são o veículo por meio do qual uma determinada faixa de fenômenos torna-se inteligível. Tais conceitos podem ser ligados a experiências, imagens ou modelos anteriores que fazem-nos parecer intuitivamente óbvios e os quais fazem conceitos competitivos parecerem não apenas errados, mas virtualmente ininteligíveis. Com frequência, portanto, o primeiro obstáculo que um conjunto de conceitos centrais deve enfrentar na busca da aceitação é parecer fazer sentido.

Esses tipos de considerações sugerem que existem diversas condições importantes que devem ser preenchidas antes que uma acomodação seja provável de ocorrer. As quatro condições seguintes nos parecem expressar as que são comuns na maioria dos casos de acomodação.

1) *Deve haver insatisfação com as concepções existentes.* Os cientistas e estudantes provavelmente não farão alterações importantes em seus conceitos até que acreditem que alterações menos radicais não funcionam. Portanto, antes que uma acomodação ocorra, é razoável supor-se que o indivíduo deve ter coletado uma grande quantidade de questões ou anomalias não resolvidas e perdido a fé na capacidade nos seus conceitos atuais para resolver tais problemas.⁶

2) *Uma nova concepção deve ser inteligível.* O indivíduo deve poder entender como a experiência pode ser suficientemente estruturada por um novo conceito para explorar as possibilidades inerentes nele. Os autores com frequência acentuam a importância das analogias e metáforas ao emprestar um sentido inicial e inteligibilidade aos novos conceitos (Ortony, 1975; Belth, 1977; Black 1962).

3) *Uma nova conceituação deve parecer inicialmente plausível.* Qualquer novo conceito adotado deve pelo menos parecer ter a capacidade de resolver os problemas gerados pelos seus predecessores. De outra forma não parecerá uma escolha plausível. A plausibilidade é também o resultado da consistência de conceitos com outros conhecimentos. Uma nova idéia em, digamos, astronomia é menos provável de ser aceita se for inconsistente com o conhecimento físico atual ou se ela simplesmente não tiver uma explicação física clara. Os cientistas físicos antes do século 20, por exemplo, eram relutantes em aceitar o que os geologistas estavam reivindicando como a idade do mundo, pois eles não possuíam qualquer teoria que permitisse ao sol gerar energia durante todo esse período de tempo.

4) *Um novo conceito deve sugerir a possibilidade de um programa de pesquisa profícuo.* Deve ter o potencial para ser estendido para abrir novas áreas de inquirição.

⁶ Existe, obviamente, uma quantidade apreciável de literatura tanto em psicologia (Smedslund, 1961; Kuhn, 1972; Berlyne, 1965) quanto em educação da ciência (Driver, 1973; Stavy & Berkowitz, 1980) sobre o uso de conflitos conceituais e cognitivos para o desenvolvimento de mudança conceitual e pensamento. Porém a maior parte dessa literatura foi conduzida dentro de uma estrutura estritamente Piagetiana [apesar de Berlyne (1965) reanalisar o uso mais amplo das situações de conflito na educação]. Todavia, nada desse trabalho parece ser fundamentado em uma teoria de mudança conceitual da espécie discutida neste artigo. Isto é, nada é centralizado em alterações fundamentais nos conceitos de organização central de uma pessoa em relação a um conjunto de conceitos para um outro conjunto de conceitos incompatível com o primeiro.

Características de uma Ecologia Conceitual

Os conceitos atuais de um indivíduo, sua ecologia conceitual, influencia a seleção de um novo conceito central. A literatura na filosofia da ciência e nosso próprio trabalho (a ser brevemente discutido) sugeriram que as seguintes espécies de conceitos são particularmente importantes determinantes da direção de uma acomodação.

1) *Anomalias*: O caráter dos fracassos específicos de uma determinada idéia é uma parte importante da ecologia que seleciona o seu sucessor.

2) *Analogias e Metáforas*: Podem servir para sugerir novas idéias e para torná-las inteligíveis.

3) *Comprometimentos epistemológicos*:

a) *Ideais explanatórios*: A maior parte das áreas de atuação tem visões específicas com relação ao objeto concernente ao que conta como uma explicação bem sucedida na área de atuação.

b) *Visões gerais sobre o caráter do conhecimento*: Alguns padrões para o conhecimento bem sucedido como, por exemplo, elegância, economia, parcimônia e não específico para essa finalidade parecem neutros com relação ao objeto.

4) *Crenças e conceitos metafísicos*:

a) *Crenças metafísicas sobre a ciência*: As crenças concernentes a extensão da maneira ordeira, simetria e não aleatoriedade do universo são com freqüência importantes no trabalho científico e podem resultar em visões epistemológicas, as quais, por sua vez, podem selecionar ou rejeitar espécies particulares de explicações. Tais crenças desempenharam um amplo papel no pensamento de Einstein. As crenças sobre as relações entre ciência e experiência comum são também importantes neste ponto.

b) *Conceitos metafísicos da ciência*: Os conceitos científicos específicos com freqüência têm uma qualidade metafísica no sentido de que são crenças com relação à natureza, em última instância, do universo e são imunes com relação à refutação empírica direta. Uma crença com relação a espaço ou tempo absoluto é um exemplo.

5) *Outros conhecimentos*:

a) *Conhecimentos em outras áreas de atuação*.

b) *Conceitos concorrentes*: Uma condição para a seleção de um novo conceito é que ele deve parecer prometer mais do que os seus concorrentes.

Veremos neste estudo como tais aspectos de uma ecologia conceitual relacionam-se com as quatro condições de uma mudança conceitual na explicação das dificuldades que os estudantes enfrentam ao aprender ciência. Portanto nos voltamos para um estudo da mudança conceitual necessária dos estudantes de física no contexto de um tópico específico: a teoria da relatividade especial de Einstein. Este tópico foi escolhido porque tem sido comumente visto como um protótipo de uma revolução científica.

O Método

De forma a estudar as tentativas dos estudantes de chegar a bom termo com a teoria especial, nós conduzimos entrevistas em um curso universitário de física introdutório, com auto-ritmo, auto-estudo e não-cálculo com estudantes que tinham completado uma unidade em relatividade especial, e com diversos instrutores de física. Nas entrevistas, dois problemas foram apresentados aos entrevistados, aos quais se solicitou que resolvessem problemas enquanto pensavam em voz alta. Em cada estágio foi-lhes solicitado que apresentassem razões para suas respostas, mas não foram feitas tentativas para ensiná-los nos casos em que suas respostas estava inconsistentes com a teoria especial. O primeiro problema considerou os trabalhos de um relógio de luz e as implicações que ele apresenta para o conceito de tempo. O segundo envolvia simultaneidade e sincronização de relógios distantes e foi seguida de uma apresentação de explicações escritas de dois diferentes pontos de vista que o entrevistado foi solicitado a ler e subseqüentemente repetir, como um exercício de compreensão.

⁷ Consultar Posner et al. (1979) para uma descrição completa dos problemas.

A Teoria com ilustrações das entrevistas

Nós exploramos agora em mais detalhe as condições que governam a assimilação e acomodação, relacionando-as a aspectos diferentes da ecologia conceitual listada acima. A aplicação à teoria especial de relatividade é iluminada por exemplos tomados das entrevistas com estudantes e instrutores de física.

Inteligibilidade de uma Nova Concepção

De forma a considerar uma concepção alternativa, o estudante deve achá-la inteligível. Deve estar claro que inteligibilidade é necessária para, porém não equivalente a, ou suficiente para, acomodação. A inteligibilidade a nível superficial necessita de entendimentos dos termos e símbolos componentes utilizados e da sintaxe do modo de expressão. Para algumas novas concepções, esse aspecto de inteligibilidade é facilmente atendido. A teoria especial é um desses casos nos quais esse aspecto não é particularmente problemático para estudantes universitários com um histórico adequado em álgebra.

Todavia, como demonstram as recentes pesquisas sobre compreensão de linguagem, acharem-se os discursos (ou, para esse efeito, as teorias) inteligíveis necessita mais do que simplesmente saber o que as palavras e símbolos significam. A inteligibilidade também requer a construção ou identificação de uma representação coerente do que uma passagem ou uma teoria está dizendo (Bransford & Johnson, 1973). De fato, nós reivindicariamos que nenhuma teoria pode, de fato, funcionar psicologicamente, a menos que seja inteiramente representada pelo indivíduo.

Em geral, as representações podem ser na forma de proposições ou imagens, ou redes de proposições e/ou imagens interrelacionadas. Poder-se-ia, por exemplo, representar distâncias de viagens entre as cidades do Estado de Nova Iorque como uma série: Ithaca-Albani, 165 milhas; Albani-Siracusa, 60 milhas; Albani-Cidade de Nova Iorque, 150 milhas, etc. Ou, a mesma informação poderia ser representada por uma matriz formada escrevendo-se o nome de cada cidade tanto no eixo vertical quanto no horizontal da matriz, onde cada célula de matriz contenha a distância entre as duas cidades que intersectam na célula. Ou, a mesma informação poderia ser representada ainda mais economicamente por um mapa do Estado de Nova Iorque com linhas conectando pares de cidades e a distância entre elas escrita sobre cada linha. De forma similar, uma tabela verdade e um diagrama de Venn podem representar a mesma informação como proposições ou imagens, respectivamente.⁸

As representações funcionam tanto passivamente como ativamente. Elas funcionam passivamente como um formato no qual a informação deve ajustar-se. Em tarefas de compreensão de parágrafos, por exemplo, sentenças anômalas são confusas (isto é, ininteligíveis) em razão de não poderem ajustar-se nas representações que estão sendo construídas e, portanto, não são facilmente introduzidas na memória do leitor (Bransford & Johnson, 1973). As representações também funcionam ativamente como um plano para a direção da atenção de uma pessoa e na condução de pesquisas objetivas (Neisser, 1976). A incapacidade dos leitores de lembrar de uma sentença anômala em um parágrafo, que, de outra forma seria considerado coerente, pode ser atribuída à desatenção do leitor para a sentença.

As diferentes funções de uma representação apareceram dramaticamente na comparação entre as respostas de um estudante, ON, encarando a relatividade pela primeira vez, e de um instrutor, ET, que tinha ensinado física, porém não relatividade, por um certo número de anos. Ambos leram a explicação escrita do problema de simultaneidade, parte da qual é dada a seguir:

Quando E passou A, ambos ajustaram seus relógios para zero e enviaram-me um sinal de sincronização. Considerando que eu estava a uma distância d_{AB}/c de A quando o sinal chegou, eu ajustei meu relógio para indicar $t = d_{AB}/c$. De forma que o relógio de E e o meu relógio estavam corretamente sincronizados quando E estava em A, porém, considerando que um relógio em movimento anda devagar, quando E me alcançou seu relógio estava atrasado em relação ao meu.

A lembrança de ON dessa sessão veio sem hesitação da seguinte maneira:

(B disse) que quando E alcançou o ponto A, eles sincronizaram os relógios em zero, e naquele ponto ele enviou um sinal para B, e B sincronizou seu relógio com t igual à distância AB sobre a velocidade e assim que B declarou que o fez - porque relógios em movimento andam devagar, E estava atrasado.

⁸ Esses exemplos todos foram adaptados de Jerome Bruner (1966).

Não houve indicação de qualquer funcionamento ativo. Ela estava atenta para dar a resposta escrita sem comentários. Ela já tinha tentado sua própria solução para o problema, porém não há comparação entre a explicação escrita e o sua própria tentativa anterior. Isto, em contraste, é a lembrança de ET precisamente da mesma seção:

(E disse) que ele enviou um sinal de sincronização para B, e isso difere da abordagem que pretendia que B olhasse para eles visualmente. E aparentemente aqui está B considerando que (E) enviou um sinal de sincronização e que a distância que ele viajou (pausa), sim, veja, é aí que ele está obtendo sua velocidade, velocidade relativa.

A representação que ET constrói, funciona ativamente para dirigir sua atenção ao comentar sobre a explicação escrita e para conduzir uma pesquisa para qualquer informação que pudesse ser usada para eliminar dificuldades na sua própria solução do problema. Conforme ele diz mais tarde:

Veja, eu não me lembro do que ele disse, eu não estava realmente tentando lembrar, porém para ordenar minhas idéias... eu suponho que eu fui seletivo na minha leitura, tentando somente absorver da (explicação escrita) o que pudesse clarear minhas próprias idéias.

A forma como uma pessoa representa o conhecimento e as teorias determina a sua habilidade para fazer sentido e usar as novas idéias. Somente se o estudante puder psicologicamente construir uma representação coerente e que faça sentido de uma teoria poderá ela tornar-se um objeto de avaliação e uma ferramenta de pensamento. Somente uma teoria inteligível pode ser candidata a uma nova concepção em uma mudança conceitual.

Qual é a dificuldade apresentada por essa tarefa para a relatividade especial? Einstein (1954) descreve os dois postulados básicos da relatividade especial da seguinte maneira:

... Cada lei universal da natureza que é válida em relação ao sistema coordenado C, deve também ser válida da maneira em que se apresenta, em relação a um sistema coordenado C', que está em movimento translatório uniforme em relação a C...

O segundo princípio, sobre o qual a teoria especial de relatividade repousa, é o "princípio da velocidade constante da luz *no vácuo*". Este princípio sustenta que a luz *no vácuo* sempre tem uma velocidade definida de propagação (independentemente do estado de movimentação do observador da fonte de luz) (pp. 224-225).

A construção de uma representação coerente dos dois postulados da teoria individualmente não é particularmente problemática. Pode-se imaginar um estado de coisas no qual cada um deles por sua vez é verdadeiro, apesar de que quanto mais aceitar-se a mecânica Newtoniana mais difícil será imaginar um mundo no qual o postulado sobre a constância da velocidade da luz seja verdadeiro. Porém, em resumo, a inteligibilidade de cada um dos dois postulados de Einstein não é particularmente problemático.

A inteligibilidade da teoria como um todo, entretanto, é uma questão diferente. Achá-la inteligível vincula imaginar-se um mundo no qual ambos os postulados de Einstein sejam verdadeiros, junto com as implicações lógicas dos postulados para noções de espaço e tempo. Esta tarefa é muito exigente. Para tornar as coisas ainda mais difíceis, é possível aplicarem-se os postulados de fórmulas de relatividade especial de uma maneira superficial, sem aquelas revisões necessárias nos conceitos da pessoa em relação a espaço e tempo que estejam de acordo com a teoria; ou sem mesmo ter entendido todas as implicações dos seus princípios. Assim, tanto o aluno quanto o instrutor pode entender mal a inteligibilidade das partes - os postulados da teoria especial - para a inteligibilidade do todo.

Plausibilidade Inicial de uma Concepção Nova

Uma fonte de dificuldade no aprendizado de relatividade especial nasce de sua falta de plausibilidade especial para estudantes de física. Independentemente de quão inteligível ache-se a teoria, ela pode ainda parecer contraintuitiva. O que torna uma teoria como a relatividade especial contraintuitiva?

A plausibilidade inicial pode ser imaginada como o grau antecipado do encaixe de uma nova concepção em uma ecologia conceitual existente. Parece haver pelo menos cinco formas pelas quais uma concepção possa tornar-se inicialmente plausível.

- 1) Uma pessoa acha que ela é consistente com suas crenças metafísicas e comprometimentos epistemológicos atuais, isto é, as suposições fundamentais da pessoa.
- 2) Uma pessoa acha a concepção consistente com outras teorias ou conhecimentos.
- 3) Uma pessoa acha a concepção consistente com experiência passada.
- 4) Uma pessoa acha ou pode criar imagens para a concepção que atendam ao sentido da pessoa no que o mundo é ou como poderia ser.
- 5) Uma pessoa acha a nova concepção capaz de resolver problemas para os quais está alerta (isto é, resolver anomalias).⁹

Desses cinco fatores o primeiro parece oferecer o maior poder explanatório com respeito às dificuldades encontradas pelos estudantes que tentam aprender a teoria especial de Einstein. Olhemos para as suposições fundamentais à medida em que sejam pertinentes nessa tarefa de aprendizado.

Um conjunto de suposições fundamentais é composto pelos comprometimentos epistemológicos do indivíduo. Einstein (1949) estava comprometido com dois princípios epistemológicos fundamentais:

- 1) A teoria não deve contradizer fatos empíricos; e
- 2) As premissas da teoria devem ser caracterizadas pela "naturalidade" ou "simplicidade lógica", uma espécie de "perfeição interna" da teoria. Ele estava comprometido tão plenamente com estes dois princípios que era capaz de aplicá-los truculentamente, mesmo se tal aplicação significasse uma rejeição das nossas noções de senso comum de espaço e tempo.

É ocioso dizer que os estudantes nem sempre compartilham dos compromissos epistemológicos de Einstein, porém os seus próprios comprometimentos provavelmente serão altamente significativos na determinação do que eles consideram inicialmente plausível e, portanto, na modelagem de suas mudanças conceituais. Portanto, é importante descobrir exatamente quais comprometimentos epistemológicos os estudantes têm, caso se queira entender o que eles provavelmente irão achar inicialmente plausível ou implausível e, mais genericamente, entender seus processos de mudança conceitual. Qual é a sua teoria das teorias? Qual é a sua teoria do saber? Qual é a sua visão da relação de conhecimento disciplinar com o conhecimento cotidiano?

As crenças metafísicas científicas como comprometimentos epistemológicos, são centrais para uma concepção. A crença metafísica científica central que contrasta a relatividade especial com seus predecessores imediatos é a sua rejeição de espaço absoluto e tempo absoluto em favor de uma interpretação que considera espaço e tempo relativos a qualquer sistema inercial dado. Enquanto os estudantes estiverem firmemente comprometidos com espaço e tempo absolutos, eles acharão a teoria especial contraintuitiva.

Um bom exemplo de tal comprometimento é fornecido pela estudante CP, que delineia sua crença em tempo absoluto explícita e repetidamente. Em resposta a uma porção do problema da simultaneidade (para o qual a teoria especial prediz que dois relógios indicam tempos diferentes) ela responde:

(CP) Eu quero dizer o seguinte, como eles poderiam variar? O tempo anda somente numa taxa única, certo?

Após ela ter lido a explicação escrita mostrando a derivação da predição relativística, o entrevistador (I) questiona-a mais profundamente:

(I) E então o que acontece com a idéia de tempo absoluto?

(CP) Eu não posso dizer que isso *não* seja verdade...

CP não apenas declara sua crença no tempo absoluto porém em um estágio posterior mostra como a defende em uma discussão dos resultados problemáticos do problema da simultaneidade que ela assimila dentro de uma concepção existente:

(I) Estou apenas lhe perguntando o que você sente com relação a resultados como esse.

⁹ A presente discussão irá centralizar-se somente na primeira dessas cinco maneiras, isto é, nas suposições fundamentais do indivíduo. Na próxima seção elaboramos sobre a última dessas maneiras. Ali discutimos a função dupla das anomalias.

(CP) É isso aí, quer dizer, o tempo absoluto, ele somente parece prosseguir a uma certa taxa em todos os lugares. Apenas parece natural que ele seja constante em todos os lugares. Quer dizer, mesmo apesar de você ver esses resultados.

(I) ...parece que eles são resultados estranhos. Que atitude você toma desses resultados?

(CP) Eu digo que eles não significam tudo isso; deve depender de como sua estrutura é. É tipo energia potencial que depende da maneira como você define que o zero seja?

(I) A quantidade de energia potencial que você tem?

(CP) Certo, tudo relacionado ao que está acontecendo.

A referência de CP à energia potencial é significativa no detalhamento de uma concepção que a habilita a olhar os valores dados a uma variável como arbitrários, sendo dependentes exclusivamente do ponto de vista do observador. Ela tenta resolver alguns resultados contraintuitivos da visão de Einstein de tempo, traçando uma analogia entre tempo e energia potencial. Independentemente do fato de que a analogia possa decompor-se com análises posteriores - ela serve à sua crença em tempo absoluto.

É adequado nesse ponto notar a importância da força e profundidade de uma crença metafísica na determinação de se a assimilação ou a acomodação ocorre. Em razão do comprometimento de CP com o tempo absoluto ser tão forte, a acomodação é uma opção menos atraente do que a assimilação, e, como resultado, ela necessita poder tornar sua crença em tempo absoluto e o seu entendimento da relatividade especial consistentes. Ela obtém sucesso, para sua satisfação, utilizando a analogia da energia potencial.

Como um tutor no curso, SL, fornece um outro exemplo de uma tentativa para assimilar os achados da teoria especial dentro de uma concepção existente, nesse caso uma forma algo mais sofisticada e detalhada. Ele demonstra um firme comprometimento Newtoniano para a visão mecanística do mundo que exige que os objetos tenham propriedades fixas tal como comprimento, massa, etc., e que as explicações dos fenômenos devam ser dadas em termos desses objetos e de suas interações. Ao falar sobre a questão de varas que encolhem e relógios lentos, ele diz:

(SL) Eu os vejo como sendo - como alterando o seu comprimento, ou alterando o seu tempo. Mas eu não posso falar à pessoa que está se movendo na mesma velocidade que a vara e o relógio. Ele está me dizendo que eles não mudam...Eu sinto que elas não mudaram, mas a forma como eu estou olhando para elas mudou... Eu acho que eu estou abrindo espaço para o fato de que a pessoa que está vendo tais coisas em repouso, que tenha o seu relógio em repouso, sua vara medidora em repouso, tem (pausa) um pouco mais de direito de dizer o que realmente está acontecendo com as varas.

Um pouco mais tarde ele continua:

(SL) Mas eu não me sinto de forma alguma desconfortável com a idéia de abreviação antecipada. De fato eu digo, eu sinto que isso é uma percepção. Eu diria que é uma abreviação. Eu tenho para mim que o meu amigo que está andando com aquela vara medidora está me dizendo todo o tempo que, tanto quanto ele pode dizer, trata-se do mesmo comprimento e eu acredito no que ele está dizendo, o que está certo.

(I) Isto não é um conflito?

(SL) Não, porque o fato é que o seu movimento faz com que ele pareça para mim como se ele estivesse antecipadamente encurtado.

Aqui SL insiste em tratar o comprimento como constante independente dos quadros de referência. Ele é então levado a tratar as reivindicações da teoria especial concernentes à relatividade do comprimento como simplesmente uma distorção da percepção.

O que nos interessa nesse ponto é que SL revela seu comprometimento utilizando-o como a concepção para a qual ele assimila os achados da relatividade especial. De forma a fazer isso, ele tem que fazer duas assunções auxiliares: que uma vara que encolhe constitui em um problema de percepção, e de fato ela não encolhe ("Eu senti que eles [varas e relógio] não tinham mudado, mas a forma como eu estava olhando para eles mudou"), e que em princípio uma interpretação mecanística em termos de objetos e movimentos é necessária, de forma a explicar porque os relógios andam mais devagar ("Eu não vejo como, em profundidade...mas eu acredito que possa ser feito"). Nenhuma dessas assunções é necessária ou mesmo consistente com uma perspectiva Einsteiniana baseada em uma reanálise de espaço e tempo. Contudo, elas de fato têm uma parte integrante na proteção dos comprometimentos metafísicos de SL.

Insatisfação com as Concepções Existentes¹⁰

Geralmente, uma nova concepção é improvável de destituir uma velha concepção, a menos que a concepção antiga encontre dificuldades,¹¹ e uma concepção nova inteligente e inicialmente plausível esteja disponível e resolva tais dificuldades. Isto é, o indivíduo deve primeiro visualizar uma concepção existente com alguma insatisfação antes de considerar seriamente uma nova concepção.

Uma fonte importante de insatisfação é a anomalia. Toda vez que uma pessoa tenta sem sucesso assimilar uma experiência ou uma nova concepção dentro de uma rede existente de concepções, essa pessoa experimenta uma anomalia. Existe uma anomalia quando uma pessoa é incapaz de assimilar alguma coisa que seja presumida como assimilável - ou (em outras palavras), uma pessoa simplesmente não possa fazer sentido de alguma coisa.

Quando confrontado com uma anomalia, o indivíduo (cientista ou estudante) tem diversas alternativas. Ele pode chegar à conclusão de que as suas concepções existentes necessitam de algumas revisões fundamentais (isto é, uma acomodação) de forma a eliminar o conflito. Porém isto é muito difícil e, portanto, a abordagem mais improvável, especialmente quando existem outras possibilidades:

- 1) rejeição da teoria observacional¹²;
- 2) falta de preocupação com achados experimentais sob a alegação de que eles são irrelevantes para a concepção atual da pessoa;
- 3) uma compartimentalização de conhecimento para impedir que a nova informação conflite com a crença existente ("A ciência não tem coisa alguma a ver com o mundo 'real'"); e
- 4) uma tentativa de assimilar a nova informação dentro das concepções existentes (por exemplo, a "Newtonização" dos fenômenos relativísticos).

Esta análise sugere que a apresentação de anomalias produz insatisfação com uma concepção existente somente se:

- 1) Os estudantes entenderem porque o achado experimental representa uma anomalia;
- 2) Os estudantes acreditam que seja necessário reconciliar os achados com suas concepções existentes;
- 3) Os estudantes estão comprometidos com a remoção de inconsistências entre as crenças que mantêm; e
- 4) As tentativas para assimilar os achados dentro das concepções existentes dos estudantes são vistas como não funcionando.

Dada a improbabilidade de que todas essas condições sejam atendidas, não é de espantar que poucos estudantes considerem as suas concepções de momento enfraquecidas pelas anomalias. Por que considerar alternativas para uma visão Newtoniana (ou qualquer que seja a visão que eles mantenham) quando eles não estão convencidos da inadequação de suas concepções? A busca por anomalias instrucionalmente viáveis e efetivas é de importância primária, se é que se vai levar uma acomodação a sério como uma meta. A recontagem de anomalias históricas (como, por exemplo, o experimento de Michelson-Morley) nem sempre será suficiente!

Assumindo que este formidável problema instrucional seja resolvido, o processo de acomodação pode prosseguir. Se a insatisfação com a concepção existente criada pela sua inabilidade de fazer sentido da experiência for acompanhada pelo aprendizado de uma alternativa inteligível, que resolva ou que prometa resolver algumas das anomalias de sua predecessora, então a nova concepção pode ser plausível.

¹⁰ O leitor deve notar que essa seção sustenta-se sobre alguns pontos levantados nas duas seções anteriores. Portanto, para o objetivo de clareza e concisão, essa seção é colocada fora de ordem em relação à lista de condições apresentada anteriormente.

¹¹ Lakatos (1970) chama tais dificuldades de "dados recalcitrantes".

¹² Relatórios de observação não são neutros quanto à teoria. Ao invés disso, as observações são descritas e interpretadas por meio de conceitos tirados de alguma teoria, ou alguma teoria é assumida ao tratarem-se as observações como dados. O tratamento das observações do deslocamento vermelho (*red shift*) como uma medida da distância assume uma teoria de onda de luz c , em alguns casos, relatividade. Mesmo o uso de um telescópio assume uma teoria de óptica. As teorias que funcionam para descrever ou interpretar dados nós chamamos de teorias de observação.

Existe pouca evidência nas entrevistas de que os estudantes estivessem conscientes das anomalias, mesmo que fitas de vídeo de dois experimentos formassem parte do material de estudo no curso. É significativo que o exemplo mais claro de uma conscientização de estudante de comportamento anômalo ocorra junto com a declaração de seu comprometimento epistemológico.

HU derivou um resultado errado de sua visão do princípio de relatividade, que implica que fotografias tomadas por duas câmeras que se movem passando uma pela outra no mesmo momento e dos mesmos dois relógios mostrarão coisas diferentes. O entrevistador procura a confirmação desta visão:

(I) Então o que você está dizendo é que eles não concordariam, não poderiam concordar, que eles de fato veriam coisas diferentes.

(HU) Certo.

(I) Isso não o incomoda?

(HU) Incomodava no começo, porém quando você pensa sobre isso e analisa detidamente, não existe razão porque nós devêssemos nos limitar a um quadro mental. Me agrada pensar abstratamente e eu posso ver isso. Eu tive problemas em me conscientizar de que os comprimentos se alterariam, também, mas você sabe, que eu sou um lutador! Não, isso não me incomoda. Só que nós não nos damos conta disso devido às nossas velocidades baixas. Minha tendência é acreditar em dados científicos que são trazidos à tona, e quando eles dizem que um elétron - o que era mesmo - um meson, de fato está coerente com as previsões, o que você pode fazer? E uma vez que você tenha visto os fatos, você pode estender sua imaginação.

A epistemologia declarada de HU é simples e empiricista: As teorias são derivadas de evidência experimental. Também parece exibir um grau de tolerância para inconsistências teóricas, tolerância essa que o impede de ver que ele cometeu um engano. Todavia, HU detalhou uma anomalia: a mecânica Newtoniana calcula o tempo de vida de um meson como sendo muito mais curto do que aquele que é observado experimentalmente. Todavia, ele observou que a predição da relatividade especial concorda com o experimento. Portanto, HU vê uma anomalia, ele vê a concepção alternativa e o seu comprometimento epistemológico permite a sua plausibilidade.

Proficuidade de uma Nova Concepção

Uma vez consciente de uma alternativa inteligível e plausível para uma concepção existente que resolve aparentes anomalias, os estudantes podem ativamente tentar mapear suas concepções no mundo; isto é, eles podem tentar interpretá-la. Se a nova concepção não somente resolve as anomalias de sua predecessora mas também leva a novas intravisiões e descobertas, então a nova concepção parecerá profícua e sua acomodação parecerá persuasiva.

Um rápido exame da proficuidade da teoria especial para cientistas profissionais pode sugerir parte do potencial da teoria. É este o potencial para o qual os estudantes devem ser alertados, se é que vão compartilhar da visão que a teoria é de fato profícua e, portanto, que vale a pena acomodar:

- 1) Como uma ferramenta de engenharia no desenho de aceleradores (mecânica relativista);
- 2) Como uma ferramenta tecnológica no desenvolvimento de armas nucleares e reatores nucleares;
- 3) Como uma ferramenta teórica e tecnológica em química nuclear para predizer os produtos das reações nucleares;
- 4) Como uma ferramenta teórica e matemática na astronomia para o cálculo das expectativas de vida das estrelas, para explicar fenômenos astronômicos (por exemplo supernovas), e para fazer cálculos de distâncias astronômicas;
- 5) Como uma base teórica (junto com física quântica) para o desenvolvimento de física moderna.

Na medida que o estudante pode entender tais contribuições e rastreá-las até os postulados básicos da teoria especial, ele pode começar a apreciar a proficuidade da teoria.

O Caráter da Acomodação

Nossa descrição das quatro condições de uma acomodação bem sucedida pode ter sugerido um processo linear razoavelmente reto: a insatisfação dos estudantes com a física Newtoniana; seguida pelo

achado dos estudantes de que a relatividade especial é inteligível; levando a uma crença inicial em sua plausibilidade; e concluindo com a crença de que a teoria é, em última instância, profícua.

Entretanto, deve ficar claro que esta explicação está super-simplificada, pois muitas concepções básicas, incluindo a relatividade, são tão complexas que em um momento particular é provável que uma pessoa acomode certos aspectos porém não outros. Nós temos, obviamente, descrito a acomodação como uma mudança radical no sistema conceitual da pessoa. Que uma acomodação é uma mudança radical, entretanto, não implica que seja abrupta. Na verdade, há boas razões para supor que para os estudantes a acomodação será um assunto a ser feito gradualmente e em partes. É improvável que os estudantes tenham de saída um apanhado claro ou bem desenvolvido de qualquer teoria em particular e o que ela vincula em relação ao mundo. Para eles, a acomodação pode ser um processo de dar um passo inicial em direção a uma nova concepção por meio da aceitação de algumas de suas reivindicações e então, gradualmente, modificando-se outras idéias, à medida em que eles mais plenamente se dão conta do sentido e implicação dos novos comprometimentos. A acomodação, particularmente para o neófito, é melhor pensada como um ajuste gradual na concepção da pessoa, cada novo ajuste preparando o terreno para outros ajustes, porém onde o resultado final seja uma reorganização substancial ou mudança nos conceitos centrais de uma pessoa.

Nossas entrevistas também indicam que o que pode inicialmente parecer como uma acomodação pode revelar-se alguma coisa menos do que isso. Como indica a entrevista com SL, as pessoas que aceitam os dois postulados de Einstein podem entendê-los em uma forma algo não-Einsteiniana. Com frequência parece que os estudantes, que aceitaram os dois postulados, começam a dar-se conta de suas implicações contraintuitivas ou de seus conflitos com as noções Newtonianas de espaço e tempo, o comprometimento com os dois postulados enfraquece. Tipicamente, os estudantes tentarão diversas estratégias para escapar da implicação plena dos dois postulados ou para reconciliá-los com as assunções Newtonianas. A acomodação pode, portanto, ter que esperar até que algumas tentativas infrutíferas de assimilação sejam efetuadas. Raramente parece caracterizado seja por um lampejo de intravisiões, no qual as velhas idéias dão lugar às novas visões, seja por uma progressão lógica contínua de um comprometimento para outro. Ao invés disso, envolve muito manuseio desajeitado, muitas partidas falsas e enganos, e freqüentes reversões de direção.

Implicações Educacionais

O ensino da ciência envolve o fornecimento de bases racionais para uma mudança conceitual. Nós também vimos que as mudanças conceituais fundamentais, chamadas acomodações, podem envolver mudanças nas assunções fundamentais da pessoa com relação ao mundo, com relação ao conhecimento e com relação ao saber, e que tais mudanças podem ser extenuantes e potencialmente ameaçadoras, particularmente quando o indivíduo está firmemente comprometido com assunções anteriores. Nós vimos que as pessoas resistem a fazer tais mudanças, a menos que estejam insatisfeitas com o seus conceitos de momento e encontrem uma alternativa inteligível e plausível que pareça profícua para a inquirição adicional.

Dois aspectos de uma ecologia conceitual, em particular, foram mostrados para guiar o processo de mudança de uma concepção para outra: 1) anomalias, e 2) assunções fundamentais sobre ciência e sobre conhecimento.

Se levadas a sério pelos estudantes, as anomalias fornecem a espécie de conflito cognitivo (como um estado Kuhniano de "crise") que prepara a ecologia conceitual do estudante para uma acomodação. Quanto mais os estudantes consideram a anomalia como sendo séria, o mais insatisfeitos eles estarão com seus conceitos de momento, e mais provavelmente eles poderão estar prontos, em última instância, para acomodar os novos conceitos.

As crenças metafísicas e comprometimentos epistemológicos formam a base sobre a qual os julgamentos são feitos com relação ao conhecimento. Portanto, uma mudança conceitual será racional até o ponto em que os estudantes tenham à sua disposição os padrões de requisitos de julgamentos necessários para a mudança. Se uma mudança para a relatividade especial exige um comprometimento com a parcimônia e simetria das teorias físicas (como aconteceu com Einstein), então os estudantes sem tais comprometimentos não terão base racional para tal mudança. Confrontados com tal situação, os

estudantes, se é que vão aceitar a teoria, serão forçados a fazê-lo sobre bases não racionais, por exemplo, porque o livro ou os instrutores dizem que é “verdadeiro”.

Nosso estudo da história da ciência revela que muitas mudanças conceituais na ciência foram impulsionadas pelas assunções fundamentais dos cientistas, ao invés de pela sua conscientização de anomalias empíricas.¹³ A relatividade especial de Einstein pode ser vista como um caso que tal.¹⁴ Contudo, considerando que é improvável que os estudantes em um curso de física introdutória possam ser bem sucedidamente ensinados dos indispensáveis padrões de julgamento para uma acomodação de relatividade especial, os professores de física devem apoiar-se nas “anomalias” para preparar o estudante para a acomodação.

Entretanto, nosso problema permanece não resolvido. A maior parte das anomalias não será prontamente vista como anomalias pelos estudantes sem um completo entendimento da teoria observacional na qual o experimento estava inserido. Isto é, os experimentos, em sua maioria, estão longe de ser “transparentes”. Esse problema significa que a teoria especial pode, realisticamente, ser transformada, na melhor das hipóteses, somente inteligível e parcialmente plausível, porém nunca plenamente persuasiva para os estudantes que estão firmemente comprometidos com crenças metafísicas e comprometimentos epistemológicos conflitantes? Uma coisa é educar físicos durante um curso de quatro a seis anos para um dado conjunto de padrões de julgamento. Uma outra coisa muito diferente é obter esta meta em um curso introdutório de física, junto com a cobertura de um amplo conteúdo programático. E, mais ainda, como se deve demonstrar a proficiência da teoria no limitado tempo disponível?

Aceitando, então, que a acomodação da teoria especial corre o risco de ser difícil, se não impossível, existe alguma coisa que nós, enquanto educadores, possamos fazer para capacitar os estudantes de física a acomodar as novas concepções sobre uma base racional? Examinemos as implicações de nossa pesquisa para a educação para a ciência. Vamos organizar essas implicações em forma de perguntas e sugestões levantadas pela nossa pesquisa até o momento.

Objetivos Curriculares

Nossa discussão do papel crítico desempenhado pelas assunções fundamentais do estudante sobre o mundo e sobre o seu conhecimento do mundo levanta sérias questões sobre os objetivos dos cursos de ciência. Se o processo de mudança conceitual deve ser racionalmente baseado, então os estudantes precisarão ser imunizados contra a espécie de doutrinação inevitável que ocorre quando nem o professor nem o estudante está consciente de suas assunções fundamentais, muito menos daquelas implicadas pela ciência que estão ensinando e aprendendo.

A questão primária que deve ser levantada sobre os objetivos de currículo como resultado de nossa discussão neste artigo é a seguinte: É realístico esperar que a instrução para a ciência produza acomodação nos estudantes, ao invés de meramente ajudar os estudantes a fazer sentido das novas teorias? E, secundariamente, esta deve ser a expectativa para todos os estudantes ou somente para determinados grupos, como os especialistas em ciência?

No caso de uma resposta afirmativa ser dada para a questão primária, o conteúdo das seções anteriores sugere que nos concentremos no desenvolvimento nos estudantes:

- 1) Uma conscientização de suas assunções fundamentais e daquelas implícitas na teoria científica;
- 2) Uma demanda de consistência entre suas crenças sobre o mundo;
- 3) Uma conscientização dos fundamentos epistemológicos e históricos da ciência moderna;
- 4) Algum sentido de proficiência das novas concepções.

O ponto até onde qualquer uma das implicações acima deva ser considerada é uma questão para investigação futura.

Conteúdo

¹³ Consultar a explicação de Burt (1962, pp.36-62) de Copérnico, cuja teoria não foi uma resposta para anomalias, mas foi somente apresentada como uma interpretação mais simples e mais harmoniosa.

¹⁴ Achados empíricos anômalos com respeito à física Newtoniana porém consistentes com a teoria Einsteiniana desenvolvida muitos anos após a teoria especial de relatividade ter sido proposta.

Se objetivamos produzir nos estudantes uma mudança conceitual racionalmente baseada, então, de acordo com o que dissemos até aqui, o conteúdo dos cursos de ciência deve ser de tal maneira que torne a teoria científica inteligível, plausível e profícua. De forma a dar expressão a esse requisito geral, as seguintes condições parecem ser necessárias:

1) Deve ser dada mais ênfase à assimilação e acomodação pelos estudantes a esse conteúdo do que ao conteúdo "cobertura".

2) As "anomalias retrospectivas" devem ser incluídas, particularmente se as anomalias historicamente válidas forem difíceis de entender, ou, como ocorre com a teoria especial, não foram responsáveis por impulsionar a mudança conceitual em primeiro lugar.¹⁵

3) Deve ser ensinada suficiente teoria observacional para que os estudantes entendam as anomalias empregadas.

4) Todas as metáforas, modelos e analogias disponíveis devem ser utilizados para tornar uma nova concepção mais inteligível e plausível.

Ensino de Estratégias

Pensa-se o ensino tipicamente como um conteúdo de esclarecimento apresentado em textos, explicação de soluções para problemas, demonstração de princípios, fornecimento de exercícios de laboratório e testes para lembrar fatos e a capacidade de aplicar conhecimento aos problemas. Isto é, o ensino é para lembrar e assimilar. Para o ensino dirigido à acomodação as seguintes alterações possíveis dessa abordagem são implícitas por nossa pesquisa:

1) Desenvolver palestras, demonstrações, problemas e laboratórios que possam ser usados para criar conflitos cognitivos nos estudantes. Dentre outras coisas, deve-se considerar que tipos de problemas de exercícios poderiam criar a espécie de conflito cognitivo necessário como preparação para uma acomodação, e se os laboratórios poderiam ser utilizados para ajudar os estudantes a experimentar anomalias (Stavy & Berkowitz, 1980).

2) Organizar a instrução de forma que os professores possam passar uma parte substancial de seu tempo no diagnóstico de erros no pensamento do estudante e na identificação de movimentos defensivos utilizados pelos estudantes para resistir à acomodação.

3) Desenvolver as espécies de estratégias que os professores poderiam incluir em seus repertórios para lidar com os erros e movimentos dos estudantes que interferem com a acomodação.

4) Auxiliar os estudantes a fazer sentido do conteúdo da ciência por meio da representação do conteúdo em modos múltiplos (por exemplo, verbal, matemático, concreto-prático, pictórico), e por meio da ajuda aos estudantes na tradução de um modo de representação para o outro (Clement, 1977).

5) Desenvolver técnicas de avaliação para ajudar o professor a rastrear o processo de mudança conceitual nos estudantes (por exemplo, a entrevista clínica Piagetiana) (Posner & Gertzog, 1982).

Papel do Professor

O professor, como esclarecedor de idéias e apresentador de informação, claramente não é adequado para ajudar os estudantes a acomodar novas concepções. Nossa pesquisa sugere que o professor poderia ter que assumir dois papéis adicionais, de forma a facilitar a acomodação do estudante. Nesses papéis o professor se tornaria:

1) Um adversário, no sentido de um tutor Socrático. Neste papel, o professor confronta os estudantes com o problema que surge de suas tentativas para assimilar novas concepções. (Um ponto de preocupação é a necessidade de evitar o estabelecimento de um papel adversário em relação a estudantes como pessoas, enquanto desenvolve e mantém com relação às concepções.)

2) Um modelo de pensamento científico. Aspectos de um modelo tal poderiam incluir uma exigência implacável por consistência entre as crenças e entre a teoria e a evidência empírica, uma perseguição à parcimônia entre as crenças, um ceticismo com relação a excesso de "especificidade" em

¹⁵ Consultar Anthony P. French (1968, pp. 6-29), para um exemplo do uso de anomalias retrospectivas no ensino da relatividade especial.

teorias e uma apreciação crítica de se as discrepâncias entre os resultados poderiam estar em um “acordo razoável” com a teoria.¹⁶

Se qualquer uma das mudanças acima poderia ser implementada, e o ponto até o qual elas provariam ser eficazes na facilitação da acomodação nos estudantes, são questões das quais até o momento não tratamos.

Referências

¹⁶ Consultar Thomas S. Kuhn (1977, pp. 178-224), para uma discussão intravisionista desse ponto. Para uma discussão útil do professor como um modelo de pensamento científico, consultar Gene D'Amour (1977, pp.183-190).