

---

## MUDANÇA CONCEITUAL NO ENSINO DE CIÊNCIAS

---

*Sergio M. Arruda*<sup>1</sup>

Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina

Londrina – PR,

*Alberto Villani*<sup>2</sup>

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

São Paulo – SP

### Resumo

*Nesse trabalho foi feita uma síntese do modelo de mudança conceitual (MMC) de Posner, Strike, Hewson e Gertzog (1982), um dos principais modelos teóricos que servem de base a investigações sobre estratégias instrucionais no ensino de ciências. São apresentadas as modificações introduzidas nos últimos anos e também são discutidas algumas recentes aplicações em pesquisa. Nosso principal objetivo é divulgar o modelo, que ainda não é muito conhecido no Brasil e mostrar sua potencialidade e fertilidade como programa de pesquisa.*

### I. Introdução

A investigação da mudança conceitual na aprendizagem científica é atualmente uma das mais férteis linhas de pesquisa da área. Ela tem como principal pressuposto a existência na mente dos estudantes das *preconcepções* ou concepções espontâneas, que são idéias intuitivas relativamente estáveis, parcialmente consistentes, úteis para a interpretação dos fenômenos cotidianos e que constituem o "conhecimento do senso comum". Devido a sua importância no processo de ensino/aprendizagem um estudo detalhado das preconcepções vem sendo feito há cerca de vinte anos (Driver 1973; Malgrange et al., 1973) tendo sido mapeados modelos espontâneos em quase todas as áreas da ciência, principalmente da física. Uma das características centrais das concepções espontâneas é a sua resistência a mudanças que é interpretada como uma das principais causas das dificuldades na aquisição do conhecimento científico (Viennot, 1979). Sob essa perspectiva o problema central da educação científica seria o de promover uma mudança conceitual no aprendiz, ou seja, de criar condições para que o aluno abandone suas preconcepções, ou pelo menos limite o seu uso e adote como instrumento de interpretação do mundo as concepções aceitas pela comunidade científica.

Uma revisão das principais estratégias para a promoção de mudanças conceituais é feita por Scott e colaboradores (Scott et al, 1992). O artigo separa as estratégias em dois grupos: as baseadas no conflito cognitivo e sua resolução e as baseadas no desenvolvimento das idéias

---

<sup>1</sup> Com auxílio parcial da CAPES-PICD

<sup>2</sup> Com auxílio parcial do CNPQ

dos estudantes consistentemente com o ponto de vista da ciência. No primeiro grupo podemos incluir algumas pesquisas que fazem uso de conflitos entre a estrutura cognitiva dos estudantes e um evento discrepante (Nussbaum e Novick, 1982a,b), outras que usam o conflito entre dois sistemas representacionais do próprio aprendiz, ou seja, conflito entre duas estruturas cognitivas relacionadas à mesma realidade (Stavy e Berkovitz, 1980); também temos estratégias que usam o debate entre aluno-aluno, aluno-professor e que visam confrontar as idéias dos alunos e o ponto de vista da ciência (Cosgrove e Osbome, 1985) ou que usam o debate e a demonstração da situação física (Champagne et al, 1985) ou que adiam a resolução do conflito após a visão disciplinar ter sido introduzida (Rowell e Dawson, 1985). As estratégias do segundo tipo envolvem o desenvolvimento das idéias dos estudantes em etapas sucessivas até atingir o ponto de vista da ciência. Há estratégias que procuram desenvolver nos alunos uma compreensão qualitativa-intuitiva através do uso de analogias (Clement et al, 1987; Brown & Clement, 1989 e 1992) e estratégias que não querem substituir as teorias dos estudantes pelas teorias científicas, mas permitir que eles tenham consciência de ambas através da comparação entre elas (Niedderer, 1987).

Quase todos esses trabalhos tem sido influenciados direta ou indiretamente por dois tipos de referenciais teóricos: um de inspiração piagetiana, que faz uso essencialmente da teoria da equilíbrio de Piaget (Rowell, 1989), e um que, evitando fazer modelos sobre os processos cognitivos, adota uma posição mais fenomenológica, o Modelo de Mudança Conceitual (MMC) de Posner e colaboradores, desenvolvido na Universidade de Cornell no final da década de 70 (Posner et al, 1982). Este último, que tem como hipótese básica uma analogia entre o processo de aprendizagem e o desenvolvimento da ciência, será o objeto do presente trabalho, que tem o objetivo de apresentar seus elementos centrais, mostrando o seu potencial como paradigma para a pesquisa na área. Espera-se com isso contribuir para a divulgação dessa linha de pesquisa a qual, por possibilitar uma visão integrada de certos problemas da educação científica, pode ter conseqüências positivas para a consolidação de grupos de pesquisa emergentes na área.

## II. O modelo de mudança conceitual

A partir do final dos anos 50 e início dos 60, as visões sobre o desenvolvimento da ciência começaram a se afastar de correntes mais empiristas, que enfatizavam a importância decisiva do teste experimental para a aceitação ou rejeição de teorias científicas. Os trabalhos de Kuhn dessa época, por exemplo, apontavam para o caráter conservador da ciência (Kuhn, 1959) e para o papel decisivo das teorias; o desenvolvimento científico era interpretado como uma alternância entre um período denominado *ciência normal*, onde as pesquisas são determinadas por uma só teoria ou paradigma e o período *revolucionário*, onde o paradigma vigente é substituído por outro (Kuhn, 1962). Segundo a visão kuhniana, uma revolução científica se inicia com uma *anomalia*, isto é, uma gradual consciência na comunidade científica que o paradigma dominante não está conseguindo resolver certos problemas e que uma reestruturação das concepções existentes precisa ser efetuada. O resultado dessa crise é a emergência de um novo paradigma. No modelo de mudança conceitual de Posner e outros é feita uma analogia entre essa visão do progresso científico e o processo de aquisição do conhecimento. Como expresso pelos autores “às vezes os estudantes estão usando os conceitos existentes para tratar com os fenômenos

novos” e em outras situações “os conceitos existentes são inadequados para permiti-los compreender com sucesso um novo fenômeno”, o que pode levá-los a “substituir ou reorganizar seus conceitos centrais” (Posner et al, 1982). Esses dois padrões diferentes de mudança conceitual na aprendizagem são chamados no MMC respectivamente de *assimilação* e *acomodação*<sup>3</sup>, com o objetivo de distinguir mudanças de pequena e larga escala (Strike e Posner, 1982). Portanto no MMC os termos *assimilação* e *acomodação* corresponderiam à ciência normal e revolução científica da filosofia kuhniana. A função do paradigma seria desempenhada pela chamada *ecologia conceitual*<sup>4</sup>, ou seja, o conjunto das idéias que o aprendiz já possui no instante da aprendizagem. Com esses termos os autores, inspirados na história da ciência, sugeriram quatro condições fundamentais para a ocorrência de acomodações, que são: **insatisfação** com as concepções existentes e **inteligibilidade**, **plausibilidade** e **fertilidade** das novas concepções, das quais trataremos a seguir.

### III. Condições para Ocorrência de Acomodações

Como observado por Kuhn na história da ciência, no processo de aprendizagem o indivíduo também não tende a abandonar suas concepções até que ele se convença que mudanças menos radicais não funcionam. Assim, é razoável supor que para a ocorrência de uma acomodação seja necessário que o indivíduo tenha “armazenado uma coleção de anomalias e perdido a fé na capacidade de seus conceitos correntes em resolvê-las” (Posner et al, 1982). Ou seja, uma pessoa deve primeiro ver uma concepção corrente com alguma *insatisfação* antes de seriamente considerar uma nova e a anomalia é a principal fonte de insatisfação para o indivíduo. Uma anomalia é experimentada quando o indivíduo tenta usar seus conceitos correntes numa nova situação (isto é assimilar alguma coisa) e não consegue. Ou seja, ele não consegue “dar sentido” a uma experiência nova (Posner et al, 1982). É semelhante à noção piagetiana de desequilíbrio ou conflito, que pode ser, por exemplo, a ocorrência de um evento inesperado, que não se “encaixa nas crenças existentes do estudante” (Dykstra, 1992) ou quando uma concepção, normalmente bem sucedida na interação com um certo domínio do mundo, “falha ao interpretar uma segunda porção do mundo” (Hashweh, 1986)<sup>5</sup>. Por outro lado, uma nova concepção só pode tornar-se uma candidata a substituta de uma concepção não satisfatória se for *inteligível*, isto é, conseguir fazer um mínimo de sentido para o aprendiz. Os autores separam a inteligibilidade em dois níveis: num primeiro nível, mais superficial, ela requer apenas a compreensão dos símbolos e sintaxe da linguagem; num segundo nível a inteligibilidade requer a construção de representações coerentes (na forma de proposições e/ou imagens) da teoria ou conceito. Supondo que a nova concepção tenha sido entendida; a segunda condição que ela tem de satisfazer diz respeito à sua

---

<sup>3</sup> Assimilação e acomodação também são termos piagetianos e, embora tenham semelhanças, não devem ser confundidos com os termos do MMC, como aliás enfatizado pelos próprios autores

<sup>4</sup> O conceito de ecologia conceitual, emprestado de Toulmin (Toulmin, 1972), foi introduzido em oposição à visão empirista do conhecimento que assume como principal pressuposto que as pessoas podem aprender alguma coisa mesmo na ausência de conceitos prévios (Posner et al, 1982).

<sup>5</sup> Um dos itens da agenda de pesquisa apontada por Dykstra (1992) é a investigação da natureza do desequilíbrio. Em particular ele pergunta se a noção de insatisfação do MMC não seria mais útil para o ensino que a de desequilíbrio.

*plausibilidade*. Os autores apontam dois critérios fundamentais usados para dar plausibilidade inicial para um novo conceito: se ele resolve os problemas conhecidos (as anomalias) e se é consistente com outros conhecimentos do aprendiz, que podem ser as suas suposições fundamentais (como crenças metafísicas e compromissos epistemológicos), experiências passadas e outras teorias. O modelo enfatiza a importância de credos metafísicos os quais podem ser decisivos na opção do aprendiz por uma assimilação ou uma acomodação do novo conceito. Finalmente, se uma nova concepção além de inteligível e plausível for também *fértil*, isto é, conduzir a novas descobertas mostrando o seu potencial de ser estendida a novas áreas, então a acomodação será convincente<sup>6</sup>.

Todo o processo de mudança conceitual se desenvolve tendo como cenário os conceitos já existentes do indivíduo. Esse conjunto pré-existente de idéias chamado *ecologia conceitual* influencia a seleção dos novos conceitos ou teorias, determinando a direção da acomodação. No modelo de mudança conceitual de 1982 são apontados os seguintes tipos de conceitos presentes na ecologia conceitual que são importantes para direcionar uma acomodação:

- *anomalias*: as características específicas das anomalias podem influenciar na seleção do novo conceito.

- *analogias e metáforas*: são usadas tanto na sugestão de novas idéias, quanto na sua inteligibilidade.

- *compromissos epistemológicos*: tais como as idéias implícitas sobre o que é uma boa explicação num determinado campo de conhecimento e/ou visões gerais sobre as características desejáveis de um conhecimento apropriado (como elegância, parcimônia).

- *crenças e conceitos metafísicos*: tanto a respeito da ciência (como simetria ou simplicidade das leis físicas), como em relação a conceitos específicos (p. ex. espaço absoluto).

- *outros conhecimentos* de outros campos ou teorias competidoras.

A ecologia influencia na ocorrência de acomodações determinando se as condições são possíveis de serem satisfeitas ou não. Inteligibilidade e principalmente plausibilidade são claramente dependentes das características gerais da ecologia conceitual e uma anomalia só produz insatisfação no indivíduo se ele a reconhece como tal e está comprometido com a redução das inconsistências de seu pensamento.

O modelo foi muito bem aceito na comunidade de pesquisadores em Educação Científica e tomou-se rapidamente uma referência obrigatória para os trabalhos da área, sendo sua simplicidade e abrangência, provavelmente, as razões de seu sucesso. O modelo era simples de ser entendido, bem razoável e plausível, aparentemente compatível com quase todos os dados e quase todas as tentativas de produzir mudanças conceituais.

#### **IV. Críticas e Modificações do MCC**

Paradoxalmente, os méritos mais evidentes do modelo, sua simplicidade e sua abrangência, foram também o alvo das críticas posteriores dos próprios autores e de outros pesquisadores.

---

<sup>6</sup> Na história da ciência, como enfatizado por Lakatos em sua metodologia dos programas de pesquisa (Lakatos, 1979) e também por Kuhn em relação aos paradigmas (Kuhn, 1978), uma nova teoria no início representa apenas uma promessa de novas descobertas

Na versão de 1992 do modelo, Strike e Posner, apontam a necessidade de tomar o modelo mais sofisticado para atender as seguintes exigências:

a) A mudança conceitual não é um processo linear de aprendizagem e não pode ser pensado como um conjunto de sucessivas conquistas revolucionárias definitivas, pois envolve muitas idas e vindas e muitos sucessos e regressões; sobretudo, não é um processo unicamente intelectual, pois é grandemente condicionada por fatores emocionais.

b) As relações entre as concepções em conflito e a ecologia conceitual também são mais complexas e apresentam modificações durante o processo de aprendizagem; além disso a importância da ecologia conceitual é reforçada tanto na direção de incorporar “as atitudes que os estudantes têm a respeito da natureza da ciência e da investigação científica” e de incluir as “percepções do aprendiz a respeito das tarefas da sala de aula”, bem como investigar as relações entre o aprendizado científico e a crença na racionalidade do mundo físico, a qual pode influenciar no sucesso do aprendizado.

Outros pesquisadores criticaram a base epistemológica do modelo (Duschl & Gitomer, 1991; Villani, 1992). Para eles a teoria de Kuhn sobre a mudança conceitual na história de ciência é reducionista e incapaz de dar conta, na maioria dos casos, do efetivo processo de mudança; sua aplicação à aprendizagem escolar impede de levar em conta a possibilidade de relações não conflitivas entre as concepções novas e antigas, apesar de suas diferenças. Em particular a evolução da aprendizagem seguindo as etapas insatisfação, inteligibilidade, plausibilidade e fertilidade parece uma camisa de força em várias circunstâncias, dependendo do significado global atribuído pelos aprendizes às concepções (Villani & Arruda, 1994). Também a relação entre teoria e dados experimentais, sobretudo quando estes apresentam anomalias parece ser bem mais complexa (Chinn & Brower, 1993; Villani & Orquiza, 1993).

O MMC foi posteriormente estendido por um dos autores, Hewson, numa outra direção. Inicialmente foram introduzidos alguns termos novos que deram uma formulação alternativa ao modelo: a idéia central é a de *status* de uma concepção, definida como o grau em que a concepção preenche as condições de inteligibilidade, plausibilidade e fertilidade. Um conceito poderia assim ter os seguintes status, progressivamente mais elevados:

- nenhum status ou status I (inteligível) ou status IP (inteligível e plausível) ou status IPF (inteligível, plausível e fértil)

Nesses termos o problema fundamental da educação científica seria o de abaixar o status das concepções alternativas e elevar o status das concepções científicas na mente do estudante. Os termos assimilação e acomodação da teoria inicial (que podem ser confundidos com os homônimos piagetianos) são denominados na teoria de Hewson *captura conceitual*, quando uma nova concepção é incorporada às concepções existentes e *troca conceitual*, quando a nova concepção conflitante com a antiga tem seu status aumentado em detrimento das existentes.

Sucessivamente Hewson e Thorley (1989), analisando os trabalhos que faziam referência ao MMC, perceberam que nenhum dos autores, que afirmavam ter-se baseados no modelo, fornecia evidências ou detalhes dando suporte à idéia de que a mudança conceitual se verificava exatamente de acordo com o duplo movimento intelectual de abaixar o status das concepções antigas e elevar o das concepções novas. Eles então atacaram o problema de monitorar o status das concepções dos estudantes e identificaram três passos necessários:

a) Identificar as afirmações do estudante que representam as concepções, novas ou antigas.

b) Identificar os comentários (distinguindo-os das representações), que explicitam o grau de adesão do estudante às concepções.

c) Interpretar as representações e os comentários à luz do MMC.

Hewson e Hewson (1992) fornecem vários exemplos desse monitoramento, tendo como dados de análise entrevistas técnicas (nas quais o entrevistado conhecia o modelo e as categorias do MMC), *entrevistas clínicas*, *discussões livres* e *discussões técnicas* (com estudantes treinados no modelo) *em sala de aula*. O resultado, para eles constitui um aprofundamento do entendimento da instrução e fornece subsídios e sugestões ao professor para influenciar o processo de mudança de seus estudantes.

O monitoramento das concepções dos estudantes parece ter aberto uma nova perspectiva da mudança conceitual: o desenvolvimento de técnicas meta-cognitivas. Partindo da consideração de que as condições de insatisfação das velhas idéias e de utilidade das novas devem ser alcançadas pelos estudantes, que devem avaliar, reconhecer e reconstruir suas concepções, vários pesquisadores descobriram que, muitas vezes, esse processo é fortemente influenciado pelas idéias implícitas que os estudantes têm a respeito do ensino e da aprendizagem (Baird & Mitchell, 1986; White & Gunstone, 1989; Macdonald, 1990). Para Gunstone (1990) se o estudante considera, por exemplo, que aprender consiste principalmente em ouvir e memorizar e não em reconstruir aquilo que é proposto pelo professor, dificilmente ele estará disposto a fazer o esforço de reorganizar suas idéias. Por isso tem sido desenvolvidas várias pesquisas com o intuito de promover, simultaneamente à modificação das idéias científicas, também a das idéias sobre ensino e aprendizagem. Um passo importante para alcançar este objetivo tem sido estimular a reflexão dos estudante sobre sua aprendizagem e seu progresso no conhecimento científico (Gunstone, 1992); o treinamento explícito dos estudantes na *avaliação do status* de suas concepções (Hewson & Hennessey, 1991) também tem auxiliado em criar uma atmosfera estimuladora em sala de aula. Entretanto o caminho a ser percorrido até conseguir resultados estáveis e confiáveis sobre este ponto ainda parece longo!

## V. Aplicação do MMC ao Ensino da Relatividade

A metodologia fundamental subjacente a todos os enfoques sobre MC tem sido uma coleta de dados, através de questionários, entrevistas, uso de gravadores e vídeos, etc., para alcançar um mapeamento das concepções alternativas, e a sucessiva elaboração de atividades articuladas para sua superação. O MCC tem ajudado principalmente nesta última tarefa. Alguns exemplos recentes:

- na química: Hackling e Garnett, estudando a compreensão do equilíbrio químico e do princípio de Le Chatelier com estudantes de 17 anos (equivalente ao 3º ano do ensino médio) localizaram diversas concepções espontâneas (Hackling e Garnett, 1985); posteriormente, elaboraram uma estratégia instrucional para superar as concepções, usando micro-computadores e baseando-se no modelo de Posner e outros (Hameed et al, 1993).

- na geologia: Ross e Shuell recentemente publicaram um trabalho sobre concepções espontâneas de crianças sobre terremotos, fazendo perguntas sobre o que é um

terremoto, qual sua causa, o que acontece com a terra quando eles estão ocorrendo, etc (Ross e Shuell, 1993).

- na biologia: Dreyfus et al, investigaram recentemente as dificuldades em se produzir conflitos significativos em conteúdos distantes da realidade, os traços hereditários, que se baseiam em conceitos abstratos como os genes (Dreyfus et al, 1990). Chegaram à conclusão de que os conflitos cognitivos, entre a visão velha e a nova, podem ter resultados ambíguos: nem sempre resultam no enfraquecimento da visão antiga ou no desenvolvimento da nova, podendo evoluir para soluções inesperadas. Além disso, muitas vezes, os estudantes mais fracos sentem-se impotentes para resolver os conflitos e abandonam a esperança de aprender de forma significativa.

- na epistemologia: é possível também investigar crenças e idéias gerais que constituem a ecologia conceitual e que influenciam na aprendizagem, como foi feito por Ryan e Aikenhead (Ryan e Aikenhead, 1992).

Para exemplificar de maneira mais clara a aplicação do MMC na pesquisa em ensino de ciências, vamos considerar com um pouco mais de detalhes o uso do modelo para estudar as dificuldades em se promover uma mudança conceitual em um conteúdo sofisticado da física moderna: a teoria da Relatividade Especial de Einstein (TRE). Para tanto utilizaremos as análises sobre as condições para a ocorrência de acomodações (Posner et al, 1982), as considerações com relação a influência da ecologia conceitual (Hewson, 1982) e nossas reflexões sobre o ensino da Relatividade (Villani & Arruda, 1994)

Podemos localizar as seguintes dificuldades com relação a uma MC na aprendizagem da TRE. Em primeiro lugar, há problemas com a inteligibilidade global da teoria, isto é, em perceber todas as implicações de seus postulados e a conseqüente modificação da visão física de mundo. Isso pode levar a uma compreensão superficial da teoria, como por exemplo, a simples manipulação mecânica das fórmulas (Posner et al, 1982). Em segundo lugar, a teoria é inicialmente não plausível, devido principalmente à natureza contraintuitiva de seus postulados (Arruda e Villani, 1994) e de suas principais conseqüências (a dilatação de intervalos de tempo e a contração de distâncias) e devido ao compromisso com certas idéias, como a visão mecânica de mundo (Hewson, 1982) ou o movimento absoluto (Villani e Pacca, 1987). E em terceiro lugar o conteúdo é sofisticado o que dificulta a utilização de certas estratégias, como as baseadas na criação de anomalias ou conflitos com as concepções existentes<sup>7</sup>. Apesar disso, a maioria dos alunos acaba convivendo com esse desajuste entre os resultados da teoria e suas preconcepções. Afinal, como colocado por Hewson (1982), se eles quiserem fazer parte da comunidade dos físicos têm de aceitar a teoria. Podemos dizer que nesse caso a TRE foi assimilada “à força” aos conceitos existentes, o que não é, do ponto de vista de uma aprendizagem significativa, uma boa razão para a aceitação definitiva da teoria (embora seja uma atitude racional por parte do aluno).

O problema da influência da ecologia conceitual aparece na reação à estratégia de abaixamento do status das concepções alternativas e de levantamento do status das concepções científicas. O artigo de Hewson (1982) focaliza principalmente as relações entre dois conjuntos de idéias C1 e C2, definidas como:

---

<sup>7</sup> Em relação à TRE, por exemplo, abordada no artigo de Posner et al (1982), essa questão é tratada rapidamente, pois poucas evidências de “consciência de anomalias” foram observadas durante as entrevistas.

- C1: aceitação da visão mecânica de mundo, evidenciada pelo comprometimento do entrevistado com a idéia de que objetos extensos de propriedades fixas (como comprimento e massa) são a realidade fundamental do universo e que qualquer explicação relativística pode (e deve) ser dada em última instância através de conceitos mecânicos.

- C2: conjunto das proposições mais contraintuitivas da teoria (contração das distâncias e dilatação dos intervalos de tempo)

Em entrevistas com um monitor de um curso introdutório de TRE, foi observado que o entrevistado havia inicialmente conciliado os dois conjuntos de concepções por meio de duas suposições auxiliares que formavam o conjunto S:

- S: a contração é um problema apenas perceptual, não ocorrendo realmente, e a dilatação para qualquer relógio pode ser explicada pela contração dos intervalos de tempo em relógios de luz.

Segundo o autor, o uso da concepção auxiliar S evidenciava a existência de um processo de captura conceitual (assimilação). O objetivo era transformar esse processo em troca conceitual (acomodação) através do abaixamento do status das concepções C1 e a elevação ou pelo menos a conservação do status do conjunto C2. A criação de insatisfação com a concepção existente foi conseguida ao se mostrar que as suposições auxiliares (aparência das contrações e explicação da dilatação em função de relógios de luz) eram desnecessárias. Isso mostrou, segundo o autor, a existência por parte do entrevistado de um compromisso com a parcimônia ou economia de conceitos na elaboração de teorias. A insatisfação foi causada pela falta de necessidade lógica das suposições auxiliares e não por uma anomalia. A mudança conceitual foi operada através de uma intervenção que abordava diretamente a questão do que deve ser a realidade na TRE, apresentando o ponto de vista que os eventos são os elementos fundamentais da realidade relativística, sendo os demais conceitos definidos a partir deles (o comprimento, por exemplo, pode ser entendido como a separação espacial entre dois eventos). Um outro elemento importante da ecologia conceitual realçado por Hewson é a motivação externa: o entrevistado foi em parte forçado a “achar a TER plausível para que se sentisse fazendo parte da comunidade dos físicos” (Hewson, 1982).

Não sabemos quanto tempo duraram os resultados conseguidos pelo monitor; nossos estudos sobre o ensino da TRE têm nos convencido de que o problema mais difícil de ser resolvido é o da estabilidade da aprendizagem dos estudantes. Nossa interpretação a respeito do ensino da TRE é a seguinte (Villani & Arruda, 1994).

Nos cursos melhor estruturados e planejados é dada uma ênfase inicial aos resultados experimentais incompatíveis com a Mecânica Clássica, que são explicados mediante as transformações de Lorentz; este sucesso gera uma grande plausibilidade em favor de uma aceitação genérica seja dos princípios da teoria seja de suas conseqüências (contração das distâncias, dilatação do tempo e relatividade da simultaneidade). O trabalho sucessivo com outras aplicações das transformações de Lorentz e da equação de Einstein ( $E=mc^2$ ) confirma, para os estudantes e para os professores, que a TRE é uma grande criação científica e uma boa teoria a ser aprendida. Nesta altura, o conteúdo da Relatividade é considerado como aprendido e a solução de alguns (aparentes) paradoxos pelos estudantes confirma a impressão geral de sucesso.

Entretanto a aceitação da teoria é somente provisória, pois sua plausibilidade é ainda externa em relação às convicções dos estudantes. Não é feito nenhum esforço didático para

tomar os princípios da teoria compatíveis com a ecologia conceitual dos estudantes; várias entrevistas com estudantes têm revelado conflitos não resolvidos. Pouquíssimos estudantes, mesmo de pós-graduação, aceitam sem restrições que a luz tem a mesma velocidade em *qualquer* sistema inercial. Pouquíssimos estudantes têm refletido sobre o *significado* do Princípio da Relatividade. Como consequência o conhecimento sobre a TRE rapidamente decai e os estudantes lembram somente algumas idéias isoladas misturadas com muitas idéias espontâneas (Villani & Pacca, 1990). Em termos do MMC parece que o crescimento do status da nova teoria se realiza com uma inteligibilidade inicial; seguida de uma plausibilidade (externa) e uma utilidade inicial; em seguida tem um crescimento de inteligibilidade e fertilidade, sendo a solução dos paradoxos o sucesso mais confortante. Entretanto raramente é desenvolvido o trabalho para tomar a TRE uma *teoria plausível*. Nos parece que este trabalho envolve uma reflexão sobre os princípios da teoria e sobre suas relações com as outras teorias dominantes da Física, a teoria Eletromagnética, a teoria Quântica e a teoria da Relatividade Geral. Nos parece que atingindo esta plausibilidade a probabilidade de conseguir um aprendizado estável serão bem maiores.

## VI. Conclusões

Os exemplos considerados acima devem ter sido suficientes para ilustrar o uso do MMC no ensino de ciências, ou mais especificamente, para evidenciar o seu papel de guia nos trabalhos sobre educação científica, no sentido de que o modelo pode fundamentar e orientar as pesquisas tanto no ensino de ciências no ensino fundamental, como nas áreas específicas do ensino médio e superior. Há possibilidades de trabalhos inéditos tanto no levantamento de modelos espontâneos ou de dificuldades de raciocínio em áreas ainda não cobertas, sobretudo com conteúdos mais sofisticados, como no planejamento de estratégias onde esse levantamento já foi feito. Muitas atividades e problemas que interessam diretamente a grupos de pesquisa em educação científica nos três graus de ensino podem ser vistos pelo ângulo da mudança conceitual. As possibilidades de colaborações envolvendo pesquisadores mais experientes e pesquisadores mais novatos, parece viável, neste campo, pois no Brasil existem vários grupos com um razoável back-ground a respeito. Além disso, o prestígio internacional que a área goza, nos parece poder oferecer as melhores possibilidades de avanço acadêmico, para a consolidação de grupos de pesquisa emergentes na área de educação científica.

## VII. Referências Bibliográficas

1. ARRUDA, S. M. e VILLANI, A. 1994. **Contribuições da História da Ciência ao Ensino de Física**. Trabalho apresentado no IV Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, Resumos pp. 46-49. Florianópolis.
2. BAIRD, J. R.; MITCHELL, I. J. (eds.) – 1986 – **Improving the Quality of Teaching and Learning: An Australian Case Study-The PEEL Project**, Monash University, Melbourne.
3. BROWN, D. E.; CLEMENT, J., - 1989 - Overcoming misconceptions by analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. **Instructional Science**, 18:237-261.

4. BROWN, D.; CLEMENT, J. - 1992 - Classroom teaching experiments in mechanics. In Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Eds.) **Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies**. IPN. Kiel (D) 380-397.
5. CHAMPGNE, A. B.; GUNSTONE, R. F.; KLOPFER, L. E. 1985. Effecting changes in cognitive structures among physics students. Em: West L. and Pines A. (eds.) **Cognitive Structure and Conceptual Change**, Academic Press.
6. CHINN, A. C.; BREWER, W. F. – 1993 – The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. **Review of Educational Research**, v. 63, n. 1, p. 1-49.
7. CLEMENT J. et al. 1987. Overcoming students' misconceptions in physics: the role of anchoring intuitions and analogical validity. **Proceedings of the Second International Seminar: Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics**. v. 3, p. 84-97.
8. COSGROVE, M.; OSBORNE, R., 1985. Lesson frameworks for changing children's ideas. Em: Osborne R. e Freyberg P(Eds.) **Learning in Science: The Implications of children's science**, Heinemann.
9. DREYFUS, A.; JUNGWIRTH, E.; ELIOVITCH, R. 1990. Applying the cognitive conflict strategy for conceptual change - some implications, difficulties and problems. **Science Education**, v. 74, n. 5, p. 555-569.
10. DRIVER, R. – 1973 – The rapresentation of conceptual frameworks in young adolescent science students. **Doctoral dissertation**, University of Illinois, Urbana-Champaign.
11. DUSCHL, R. A.; GITOMER, D. H. – 1991 – Epistemological Perspective on Conceptual Change: Implications for Educational Practice. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 28, n.9, p. 839-858.
12. DUIT, R.; GOLDBERG, F.; NIEDDERER, H. (eds), 1992. Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an International Workshop. Bremem Germany).
13. DYKSTRA, D. - 1992 - Studying conceptual change: Constructing new understandings. In Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Eds.) **Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies**. IPN. Kiel (D) 40-58.
14. GUNSTONE, R. F. - 1992 - Constructivism and metacognition: Theoretical issue and classroom studies. In Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Eds.) **Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies**. IPN. Kiel (D) 129-140.
15. HACKLING, M. W.; GARNETT, P. F. Misconceptions of quemical equilibrium. **European Journal of Science Education**, v. 7, n. 2, p. 205-214. 1985.

16. HAMEED, H.; HACKLING, M. W.; GARNETT, P. J. Facilitating conceptual change in chemical equilibrium using a CAI strategy. **International Journal of Science Education**, v. 15, n. 2, p. 221-230, 1993.
17. HEWSON, P. W. A conceptual change approach to learning science. **European Journal of Science Education**, v. 4, n. 3, p. 383-396, 1981.
18. HEWSON, P. W. A case study of conceptual change in Special Relativity: the influence of prior knowledge in learning. **European Journal of Science Education**, v. 4, n. 1, p. 61-78, 1982.
19. HEWSON, P. W.; THORLEY, N. R. The conditions of conceptual change in the classroom. **International Journal of Science Education**, v. 11, p. 541-553, 1989.
20. KUHN, T. S., 1959. A tensão essencial: tradição e inovação na investigação científica. Em **A Tensão Essencial**, Kuhn, 1989, ed. 70, Lisboa.
21. KUHN, T. S., 1962. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Trad. brasileira. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1978.
22. LAKATOS, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. Em Lakatos & Musgrave (eds.) **A crítica e o desenvolvimento do conhecimento**. São Paulo: Cultrix, 1979.
23. MALGRANGE, J. L.; SALTIEL, E.; VIENNOT, L. Vecteurs, scalaire et grandeurs physiques. **Bulletin de la Société Française de Physique – Encart Pédagogiques**, v. 1, p. 3-13, 1973.
24. MACDONALD, I. - 1990 - Student awareness of learning. **Unpublished M.Ed. Studies project**, Melbourne University (citado em Gunstone, 1992).
25. NIEDDERER, H. - 1987 - A teaching strategy based on student's alternative framework - theoretical conceptions and examples (citado em Scott et al, 1987).
26. NUSSBAUM, J.; NOVICK, S. Alternative Frameworks, Conceptual Conflicts and Accomodation: Toward a Principled Teaching Strategy. **Instructional Science**, v. 11, p. 183 - 200, 1982.
27. POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. **Science Education**, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.
28. RYAN, A. G.; AIKENHEAD, G. S. Student's preconceptions about epistemology of science. **Science Education**, v. 76, n. 6, p. 559-580, 1992.
29. ROSS, K. E. K.; SHUELL, T. J. Childrens beliefs about earthquakes. **Science Education**, v. 77, n. 2, p. 191-205, 1993.

30. ROWELL, J. A.; DA WSON, C. J. Equilibration, Conflict and Instruction: A New Class – oriented Perspective. **European Journal of Science Education**, v. 7, n. 3, p. 331-344, 1985.
31. ROWELL, J.A. Piagetian Epistemology, Equilibration and the Teaching of Science. **Synthese**, v. 80, p. 141-162, 1989.
32. STAVY, R.; BERKOVITZ, B. - 1980 - Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. **Science Education** v. 64, n. 5, p. 679-692, 1980.
33. SCOTT, P. H.; ASOKO, H. M.; DRIVER, R. H. - 1992 - Teaching for conceptual change; A review of strategies. In Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Eds.) **Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies**. IPN. Kiel (D), 310-329.
34. SHUELL, T. J. Cognitive psychology and conceptual change: Ipllications for teaching science. **Science Education**, v. 71, n. 2, p. 239-250, 1987.
35. STRIKE, K. A.; POSNER, G. J. Conceptual change and science teaching. **European Journal of Science Education**. v. 4, n. 3, p. 231-240, 1982.
36. STRIKE, K. A.; POSNER, G. J. - 1992: A Revisionistic Theory of conceptual change. In Duschl & Hamilton (Eds.): **Philosophy of Science, Cognitive Science and Educational Theory and Practice**. - Albany, NY, SUNY Press.
37. TOULMIN, S. - 1972 - **Human Understanding**. Princeton: Universitary Press.
38. VIENNOT; L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 205-221, 1979.
39. VILLANI, A. Conceptual Change in Science and Science Education. **Science Education**, v. 76, n. (2), p. 223-237, 1992.
40. VILLANI, A.; ARRUDA, S. M. - 1994 - **Conceptual Change and Special Relativity Theory**. Trabalho apresentado na Conferência Internacional: 'Thinking Science for teaching: the case of Physics'. Roma (Italia).
41. VILLANI, A.; ORQUIZA, L. M. C. Representações mentais e experimentos qualitativos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 15, p. 74-89, 1993.
42. VILLANI, A.; PACCA, J. L. A Students' spontaneous ideas about the speed of light. **International Journal of Science Education**, v. 9, n. 1, p. 55-65, 1987.
43. VILLANI, A.; PACCA, J. L. A. Spontaneous Reasoning of Graduate Students - **International Journal of Science Education**, v. 12, n. 5, p. 589-600, 1990.
44. WHITE, R. T.; GUNSTONE, R. F. Metalearning and Conceptual Change. **International Journal of Science Education**, v. 11, n. 5, p. 577-586, 1989.