

FORMAÇÃO DE IMAGENS POR ESPELHOS: ESTUDO DA RESISTÊNCIA DOS ALUNOS À MUDANÇA CONCEITUAL

THE IMAGE FORMATION IN MIRRORS: A STUDY OF STUDENTS' RESISTANCE FOR CONCEPTUAL CHANGE

Sérgio Luiz Talim¹

Rodrigo de Almeida Jorge¹, César Robson Moreira¹

¹ UFMG, Colégio Técnico, Setor de Física, talim@coltec.ufmg.br

Resumo

O objetivo deste trabalho é pesquisar, de forma mais sistemática, a resistência dos alunos à mudança no conjunto de suas concepções sobre a formação de imagens por espelhos planos e côncavos. O presente trabalho foi realizado ao final um curso de ótica geométrica lecionado a 116 alunos do segundo ano do Colégio Técnico da UFMG. O trabalho, que ainda está em andamento, mostra claramente a complexidade do processo de mudança conceitual. Raramente há uma mudança ou reestruturação conceitual plena após a apresentação de um desafio. Ao contrário, ao serem desafiados, os alunos ou não modificam as suas concepções ou fazem mudanças pontuais. Algumas implicações para o ensino de Física são analisadas.

Palavras chaves: Mudança conceitual; Formação de imagens em espelhos.

Abstract

The goal of this work is to search, in more systematic way, the students' resistance for the change in their conceptions on the image formation in plane and concave mirrors. The present work was accomplished in the final of a course in geometric optics to 116 students of the second year from Technical School of UFMG. The work, which still is in process, exhibits clearly the complexity of the process of conceptual change. Rarely there is a conceptual change or full conceptual restructuring after the presentation of a challenge. On the other side, when being defied, the student or do not modify their conceptions or do punctual changes. Some implications for the Physics teaching are analyzed.

Keywords: Conceptual change; Image formation in mirrors

INTRODUÇÃO

Desde a década de 70 os trabalhos sobre mudança conceitual (POSNER, 1982) e o movimento dos conceitos intuitivo (BRANSFORD, 1999; MCDERMOTT, 1984; HALLOUN e HESTENES, 1985; DRIVER, GUESNE e TIBERGHIE, 1985; TALIM et al, 1998; TALIM, 1999; WANDERSEE, 1993), têm apresentado a aprendizagem como um processo de identificação de concepções intuitivas dos alunos e sua mudança pelas concepções científicas. Os trabalhos de pesquisa sobre conceitos alternativos em ciências, publicados desde a década de 70 do século passado, nos permitem concluir, entre outras coisas, que os alunos começam os seus estudos formais de ciência com um conjunto diverso de conceitos alternativos sobre objetos e eventos da natureza que não dependem da sua idade, habilidade, sexo e meio cultural, e são extremamente resistentes à extinção ou mudança pelas estratégias convencionais de ensino (BRANSFORD, 1999; WANDERSEE, 1993).

Os modelos de mudança conceitual foram em muitos casos baseado na transposição dos modelos de mudanças conceituais ocorridas na história da Ciência para o ensino de Ciências (MORTIMER, 1995; AGUIAR, 2001). As estratégias de ensino que nasceram dessas perspectivas têm sido criticadas por sua pouca eficácia em produzir as mudanças pretendidas. Mortimer (1995) criticando os pressupostos filosóficos e epistemológicos das estratégias de ensino para mudança conceitual salienta que *“a aplicação dessas estratégias em sala de aula tem resultado numa relação custo-benefício altamente desfavorável. Gasta-se muito tempo com poucos conceitos, e muitas vezes esse processo não resulta na construção de conceitos científicos, mas na reafirmação do pensamento do senso comum”*.

Outro tipo de problema nesse tipo de estratégia de ensino é a dificuldade dos alunos em enfrentarem fatos anômalos e conflitantes com as suas concepções (CHINN e BREWER, 1993; LABURU, 2004). Os alunos raramente mudam a sua estrutura conceitual (concepções) por causa de um fato anômalo, preferindo manter as suas concepções e negar a importância ou até a existência desse fato, ou realizar ajustes pontuais que não modificam o cerne de suas concepções.

Aguiar (2001) em uma crítica extensiva sobre o programa de aprendizagem através de mudanças conceituais salienta que *“o processo de mudança é complexo, não linear e prolongado no tempo”*, sendo que muitos fatores contextuais da sala de aula e sociais influenciam de maneira importante em todo o processo. Além disso, o estilo de raciocínio dos alunos, as suas concepções epistemológicas sobre a ciência e o conhecimento científico e as suas estratégias metacognitivas têm também uma influência marcante na capacidade dos alunos de realizarem uma mudança em suas concepções (CAMPANARIO e OTERO, 2000).

O objetivo desse trabalho é contribuir para o entendimento da complexidade do processo de mudança conceitual, pesquisando a maneira como os estudantes enfrentam um desafio às suas concepções através da observação de um fato anômalo. Estamos interessados em pesquisar, de forma mais sistemática, como a aprendizagem influencia no conjunto de concepções dos alunos sobre a formação de imagens por espelhos. Para isso pretendemos responder à seguinte questão: o que acontece quando o aluno é confrontado com uma observação que contraria as suas concepções ou teorias intuitivas, e como ele reage ao desafio que essa observação coloca ao seu modelo explicativo? No caso específico aqui estudado estamos interessados em estudar as mudanças nas concepções dos alunos sobre formação de imagens em espelhos planos e côncavos quando são desafiados por dados ou observações que contrariem essas concepções. Essas concepções serão consideradas como verdadeiras teorias implícitas (Pozo, 2002), e a questão central aqui tratada será: o que acontece com essa teoria quando ela é desafiada por uma situação onde as suas previsões se mostram erradas?

Apresento um modelo de mudança conceitual que, sendo simples e fácil de ser utilizado pelo professor em sala de aula, pode ser útil para a análise do processo das mudanças conceituais que os alunos realizam em interações de sala de aula. A formação de imagens por espelhos foi o conteúdo escolhido por ser uma área onde as concepções dos alunos são bem estudadas, sendo a presença de concepções não científicas, que podem ser desafiadas, muito freqüente.

Esse trabalho não tem como objetivo verificar o efeito da instrução formal sobre a formação das concepções ou teorias intuitivas dos alunos, já que ele foi realizado no final do processo de ensino. Os alunos manifestaram as concepções aqui estudadas após esse ensino formal.

A FORMAÇÃO DE IMAGEM POR ESPELHOS E AS CONCEPÇÕES DOS ALUNOS

Em trabalho anterior de um dos autores, foram apresentados os dados de uma pesquisa sobre os conhecimentos iniciais dos alunos sobre ótica. Nesse trabalho, 126 alunos responderam a um pré-teste onde algumas de suas concepções sobre a natureza da luz e da visão foram verificadas através de 15 questões de múltipla escolha. Uma questão perguntava onde está localizada a imagem de um objeto colocado em frente a um espelho plano, e tinha três respostas possíveis: na frente do espelho, na superfície do espelho e atrás do espelho. O quadro abaixo 1 mostra a frequência das respostas dos alunos.

Quadro 1 - Onde se forma a imagem de um objeto colocado em frente a um espelho plano?

Resposta	Frequência
Na frente do espelho.	25 (19%)
Na superfície do espelho.	41 (33%)
Atrás do espelho.	60 (48%)

Para explicar esse resultado foi realizada uma pesquisa bibliográfica na literatura (GALILI, 1991; DRIVER, 1985; GALILI e HAZAN 2000). A ótica é por natureza uma ciência interdisciplinar que exige conhecimentos de Física, fisiologia do olho, psicologia da visão além de neurologia na interpretação da visão pela mente. Esses e muitos outros fatores, tais como a necessidade do observador como parte inerente dos sistemas óticos, os efeitos do meio (ar, água) que modificam o comportamento da luz e que dificilmente podem ser eliminados e o uso frequente pelos livros e por professores de um simbolismo gráfico que é sujeito a interpretações várias e não esperadas por parte dos alunos, impedem a redução da Ótica a um modelo explicativo simples (GALILI e HAZAN 2000):

Galili e Hazan (2000) em um extenso trabalho sobre concepções dos alunos em ótica descreve pelo menos dois tipos de concepções relacionadas com a formação de imagens que podem explicar a localização da imagem pelos alunos na superfície do espelho ou mesmo na sua frente. Eles organizam as concepções em torno de facetas do conhecimento (“facets”) que representam a unidade básica de raciocínio ou a estratégia aplicada pelo estudante quanto enfrenta uma situação particular. As mudanças conceituais podem então ser descritas em termos dessas facetas, suas alterações e mudanças. Um conjunto de facetas forma um esquema de raciocínio ou concepção que é aplicado um uma maior gama de fenômenos. Os alunos podem apresentar as seguintes facetas sobre espelho plano: (1) a imagem está no espelho sendo ou não observada, (2) a imagem move-se do objeto em direção ao espelho, onde ela fica. Os alunos podem também apresentar as seguintes facetas sobre formação de imagem por espelhos côncavos e lentes convergente: (3) quando o anteparo move-se para perto ou para longe da lente ou espelho a imagem se torna maior ou menor mas continua nítida, (4) uma meia lente ou espelho produz uma meia imagem. A partir disso podemos inferir que o esquema utilizado pelos alunos para raciocinar sobre a formação de imagens é considerar a imagem como sendo uma replicação do objeto que pode se mover, manter-se estacionária ou se inverter como um todo.

No trabalho de Galili e Hazan foram identificadas duas concepções dos alunos sobre a imagem e sua formação. Na primeira concepção, chamada de esquema de Imagem Holística, a imagem do objeto é representada como uma entidade real e independente do observador que, de alguma maneira, é emitida pelo objeto como se fosse uma fotografia em movimento, e é refletida por um espelho, algumas vezes se mantém estacionária, pode ser invertida, e é vista quando chega aos nossos olhos.

Uma outra concepção identificada, chamada de esquema de Imagem Projetada, que os alunos adquirem após alguma experiência de ensino em ótica, considera que essa imagem tem as mesmas propriedades anteriores, mas não é transportada como um todo e sim decomposta em um conjunto de pontos que representam cada ponto do objeto, sendo então esses pontos transportados pelos raios de luz. Raciocinando com esses esquemas os alunos parecem imaginar que a imagem “bate” no espelho e fica aí impressa ou, como tem existência independente, pode estar em qualquer local entre o espelho e o observador. Isso parece explicar o resultado encontrado no pré-teste citado antes, e torna o conceito de imagem virtual muito complicado de ser entendido pelos alunos já que essa imagem na verdade não existe sem a presença do observador.

Essas concepções serão utilizadas na análise que farei sobre o efeito de fatos anômalos como um desafio às concepções dos alunos. A maneira como os alunos, após serem expostos à unidade de ensino onde os conteúdos de ótica e formação de imagem por espelhos e lentes foram estudados, trabalham com o desafio será o foco do meu interesse. Durante o curso os alunos trabalharam tanto teoricamente quanto em experimentos, com a formação de imagens em espelhos planos e aparentemente todos eles aceitaram que a imagem de objetos próximos a um espelho se forma atrás dele. No entanto, essa aprendizagem mudou de alguma maneira as concepções dos alunos sobre o que é e como se forma a imagem? A concepção da imagem como uma entidade real e independente foi modificada ou mudada para a concepção científica? Afinal o que mudou no conjunto de conceitos dos alunos? Essas questões deram origem a uma pesquisa sistemática sobre o tipo de mudança conceitual que os alunos estavam fazendo, cujos resultados serão apresentados neste trabalho.

UM MODELO PARA MUDANÇAS CONCEITUAIS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Os últimos anos têm sido ricos em desenvolvimentos e descobertas sobre o ensino e aprendizagem em Física. Uma grande quantidade de trabalhos sobre conceitos intuitivos ou espontâneos (BRANSFORD, 1999), diferenças entre novatos e especialistas (CHI, 1988), novas formas de representar o conhecimento aprendido tais como modelos mentais (GENTNER, 1983) e mudanças conceituais (POSNER, POZO, 1998; POZO, 2002), revolucionaram a nossa maneira de entender como se dá a aprendizagem de conceitos e conhecimentos em Física e o seu ensino. No entanto, os alunos continuam não aprendendo e as disciplinas científicas têm atraído cada vez menos estudantes (POZO, 2002). Várias são as razões para isso, entre elas, talvez a mais importante, seja que tem sido subestimada a dificuldade dos alunos em modificar os seus conceitos prévios ou intuitivos.

Os conhecimentos prévios serão considerados aqui não como um conjunto de conceitos arbitrários sem relação sem si, mas sim como uma teoria onde os conceitos se articulam e se organizam como um sistema coerente. Além disso, os conhecimentos prévios serão considerados como teorias implícitas de domínios específicos do conhecimento físico (POZO, 2002). Essas teorias são quase sempre inconscientes, ou seja, são utilizadas sem que delas tenhamos um conhecimento explícito e reflexivo, e encarnadas no sentido dado por Damaso (1996) de que conhecemos o mundo construindo representações a partir dos dados enviados ao cérebro pelo nosso corpo. Essas teorias são por sua natureza baseadas numa forma de realismo ingênuo, ou na forma como os nossos sentidos percebem o mundo (POZO, 2002). Por exemplo, a relação entre o esforço muscular e o movimento é utilizada para construir teorias sobre a causa dos movimentos, a percepção de objetos por pessoas (que não percebem raios de luz e sim objetos reais como mesas e cadeiras) é utilizada na construção de teorias sobre a formação de imagens e a sua natureza quase corpórea.

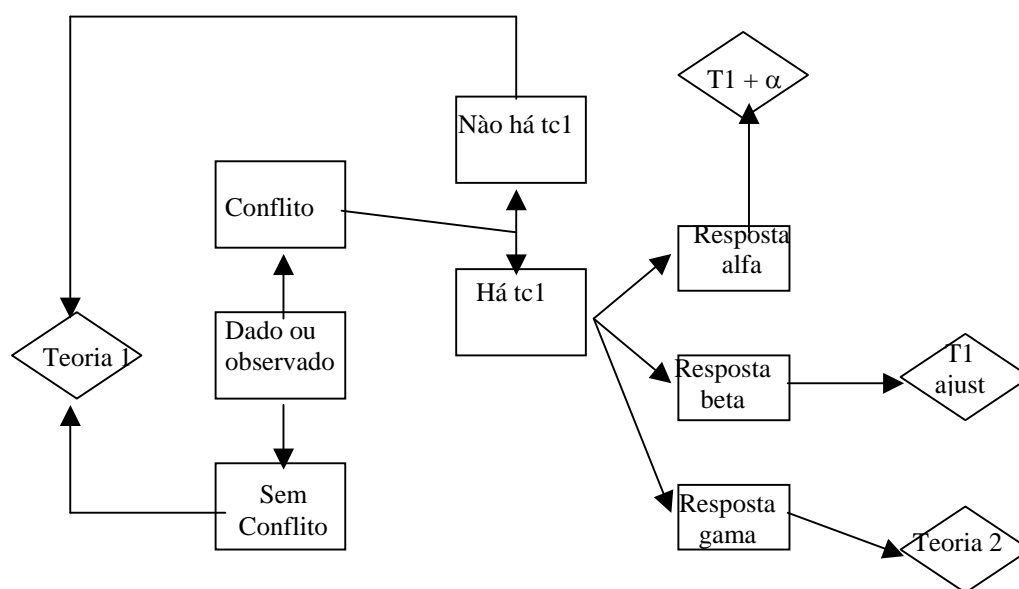
A natureza implícita e encarnada das teorias implícitas explica a sua resistência a mudanças. Assim mesmo é preciso modificá-las ou reestruturá-las pois só assim haverá verdadeira aprendizagem. A melhor maneira ainda parece ser desafiar-las apresentando contextos específicos onde as suas previsões falhem. O que ocorre depois disso não é uma rápida aceitação do desafio e uma reestruturação conceitual plena e sim um processo ainda pouco compreendido onde o aluno

pode ou não reconhecer o desafio e mesmo que o reconheça raramente reestrutura os seus conceitos em uma nova teoria. Estudar esse processo é o objetivo central deste trabalho.

Pozo (1998) apresentou um modelo de mudança conceitual que pretende integrar os mecanismos de aprendizagem por associação e por reestruturação. O modelo tenta identificar os processos envolvidos na obtenção de um resultado altamente valorizado na aprendizagem: a mudança ou reestruturação conceitual plena. Esse resultado raramente é obtido em uma situação normal de aprendizagem e por isso o modelo especifica os resultados intermediários que possibilitam essa reestruturação. Para os fins deste trabalho iremos utilizar apenas os passos iniciais do modelo que especificam os processos que ocorrem logo após o primeiro desafio. O modelo será utilizado para explicar os dados até agora obtidos nesta pesquisa.

O modelo começa com uma teoria inicial (teoria 1) e um dado ou observável que desafia a teoria. Há duas respostas: o desafio é reconhecido e provoca um conflito, ou não é reconhecido e não há conflito algum. Na resposta sem conflito a teoria é mantida intacta. Na resposta com conflito o aluno pode seguir em duas direções: existe tomada de consciência (tc1) da insuficiência da teoria 1 em explicar o novo dado ou não há esta tomada de consciência. Sem tc1 a teoria é mantida a mesma. Com tc1 o aluno é obrigado a reconhecer um conflito e a reagir de alguma maneira. De acordo com o modelo esta reação pode ser de três tipos, seguindo a terminologia proposta originalmente por Piaget: resposta alfa, beta ou gama. Na resposta gama o aluno muda o núcleo central de sua teoria e reestrutura os seus conceitos. Essa resposta é rara de ocorrer logo no início do processo de ensino e requer antes uma grande quantidade de mudanças menores. Na resposta alfa o aluno considera o dado uma exceção ou um caso isolado que não influi diretamente na teoria. O dado é assimilado como uma anomalia e a teoria é mantida praticamente a mesma. Na resposta beta o aluno introduz mudanças pontuais na sua teoria, mas sem quem isso altere o seu núcleo central, utilizando a terminologia de Lakatos (1979). Ou seja, não mudam os mecanismos explicativos da teoria, mas apenas se modifica o âmbito de fenômenos aos quais se aplicam. Novos dados podem provocar novos conflitos que, ao serem resolvidos com a resposta beta, levam a novas mudanças pontuais na teoria até que uma resposta gama seja obtida pelo aluno, que então reestruturará os conceitos construindo uma nova teoria. Vamos verificar se o dados coletados nesta pesquisa se ajustam nesse modelo de mudança conceitual.

Modelo de uma mudança conceitual



METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado durante um curso de ótica geométrica com 116 alunos do segundo ano do Colégio Técnico da UFMG. Esses alunos já tinham estudado o conteúdo correspondente a espelhos planos e esféricos e a formação de imagem por esses espelhos. Além

disso, trabalharam no laboratório com espelhos planos, e no espelho côncavo observaram a imagem de uma vela acesa sobre um anteparo, e realizaram medidas de distância focal desse espelho através das medidas de distância da vela e de sua imagem ao espelho. As turmas eram divididas entre três professores diferentes que trabalharam junto seguindo um mesmo programa, as mesmas atividades práticas, estudos dirigidos, listas de exercícios e provas comuns. Isto garantiu uma homogeneidade no processo de ensino. Além disso, o modelo científico de como os observadores localizam a posição de objetos e imagens foi explicitamente trabalhado.

Os alunos responderam, no final do curso, a um questionário (questionário 1) onde foi apresentada várias situações de formação de imagem por um espelho plano e a descrição de um experimento com um espelho côncavo. Nas situações com o espelho plano, um objeto era colocado próximo a um espelho em duas posições diferentes, sendo uma delas no centro do espelho e a outra abaixo do espelho. Depois o espelho era tampado na parte inferior com as mesmas posições do objeto. Era pedido aos alunos que localizassem a imagem a partir de um desenho e explicassem o seu raciocínio por escrito.

O experimento com espelho côncavo utilizava uma vela acesa, um espelho côncavo e um anteparo (questões 3 e 4 do questionário 1). No anteparo se podia ver a imagem invertida e maior da vela. A seguir duas situações eram apresentadas onde a parte de cima e de baixo do espelho era tampada com um objeto opaco. Ao aluno era pedido que primeiro desenhasse no anteparo como ela acharia que seria a imagem da vela. Depois era pedido que ele explicasse o seu desenho sem modificá-lo mesmo se durante a sua explicação ela mudasse de idéias.

Algumas semanas depois foi realizada uma demonstração onde o experimento com o espelho côncavo foi realizado. Os alunos observaram o que aconteceu com a imagem no anteparo. Um outro questionário (questionário 2) foi então respondido pelos alunos com as mesmas questões do questionário inicial sobre espelho plano e na parte do espelho côncavo foi acrescentado mais duas questões: o que aconteceria com a imagem no anteparo caso ele se movimentasse para frente ou para trás, e o que veria um observador olhando para o espelho caso se retirasse o anteparo e o observador se colocasse também nas posições antes e depois da posição do anteparo.

As respostas dos alunos ao primeiro questionário serão avaliadas de acordo com grau de acerto ou proximidade com as concepções científicas, e também, caso estejam erradas, os tipos de concepções intuitivas que os alunos apresentaram. No segundo questionário apenas as respostas dos alunos ao desafio nas questões sobre o espelho côncavo serão analisadas, tentando ajustar os dados ao modelo proposto por Pozo.

Estaremos interessados em descobrir a maneira como os alunos, que responderam ao questionário anterior demonstrando uma teoria intuitiva em contradição à teoria científica, respondem ao desafio colocado pela demonstração onde a resposta correta foi apresentada. Procuraremos evidências do reconhecimento ou não do conflito, da tomada de consciência da insuficiência de sua teoria implícita para explicar o resultado apresentado, e da existência de respostas alfa, beta e gama entre os alunos que demonstram essa consciência. Para comprovar a existência ou não da resposta gama, estaremos analisando as questões adicionais do segundo questionário. Como o trabalho ainda está em andamento serão apresentados apenas os resultados iniciais das análises das respostas dos alunos.

O presente trabalho não teve como objetivo estudar a origem das teorias intuitivas dos alunos e nem o papel do curso formal dado aos alunos na formação dessas teorias. O seu foco foi na interação entre essa teoria e o desafio que foi apresentado aos alunos através de uma observação conflitante com essa teoria intuitiva.

RESULTADOS

As respostas dos alunos às questões sobre a formação de imagem em espelhos planos estão reproduzidas nas tabelas abaixo (questões 1 e 2 do questionário 1).

Tabela 1 – Objeto no centro do espelho não tampado

Resposta	Frequência
Correta	29 (25%)
Correta com explicação insuficiente	64 (55%)
Errada : outras	23 (20%)

A tabela 1 mostra que mesmo no caso mais conhecido e estudado de um objeto em frente ao espelho, 23 alunos erraram na localização da imagem colocando-a na superfície do espelho ou em posição errada. Outros 64 deram uma explicação insuficiente utilizando muitas vezes um único raio para localizar a imagem.

Tabela 2 – Objeto abaixo do espelho não tampado

Resposta	Frequência
Correta	20 (17%)
Correta com explicação insuficiente	45 (38%)
Errada : outras	52 (45%)

A tabela 2 mostra que para uma situação não usual, onde os alunos devem utilizar um modelo ou teoria para fazer previsões sobre um fenômeno não observado diretamente, os erros são bem mais frequentes. Isso é uma evidência da utilização de um modelo ou teoria intuitiva e não científica. A mesma situação se repete nas tabelas 3 e 4 abaixo.

Tabela 3 – Objeto no centro do espelho tampado na parte inferior

Resposta	Frequência
Correta	8 (7%)
Correta com explicação insuficiente	36 (31%)
Errada: forma apenas uma parte da imagem	43 (37%)
Errada: posição da imagem errada	16 (14%)
Errada : outras	12 (11%)

Tabela 4 – Objeto abaixo do espelho tampado na parte inferior

Resposta	Frequência
Correta	6 (5%)
Correta com explicação insuficiente	25 (22%)
Errada: forma apenas uma parte da imagem	50 (43%)
Errada: posição da imagem errada	15 (13%)
Errada : outras	20 (17%)

As respostas dadas pelos alunos podem ser compreendidas supondo que esses alunos estão raciocinando a partir das concepções apresentadas por Galili e Hazan (2000). Utilizando o esquema de Imagem Holística ou Imagem Projetada podemos entender as respostas dos alunos que pensam que apenas metade da imagem será formada quando o espelho for parcialmente tampado, ou que a imagem está na superfície do espelho. A parte da imagem que é bloqueada antes de atingir o espelho não é refletida e por isso não é formada e nem pode ser vista pelo observador. O fato de que a maioria dos alunos responderam corretamente à questão 1, não garante que eles estejam utilizando o modelo científico para fazer essa previsão de formação de imagens e sim que, provavelmente, eles decoraram a resposta a essa situação e a aceitaram como um caso particular.

As tabelas 5 e 6 abaixo descreve as respostas dos 116 alunos às questões sobre o espelho côncavo (questões 3 e 4 do questionário 1) e algumas explicações típicas. Observe que a grande maioria dos alunos (92) respondeu que a imagem no anteparo seria a metade superior ou a metade inferior da imagem original. As explicações apresentadas também parecem estar de acordo com o

uso pelo aluno da teoria de Imagem Holística ou Imagem Projetada descritas por Galili e Hazan (2000), onde a imagem tem uma existência real e se desloca como uma fotografia em movimento do objeto até o espelho onde é refletida e projetada na direção do anteparo. Essa teoria, ao que parece, é a mesma manifestada por outros alunos no início do curso de ótica que responderem ao pré-teste mostrado na introdução e que provavelmente era compartilhada com os alunos atuais sujeitos desta pesquisa antes do ensino de Ótica, o que indica que todo o processo de ensino pelo qual os alunos passaram não modificou o núcleo central da sua teoria.

Tabela 5 – Espelho côncavo tampado na metade superior

Frequência	Resposta	Explicação
65 (56%)	Apenas a metade superior da imagem irá aparecer	“A luz emitida pelo objeto viaja em linha reta, é o espelho que inverte as posições. Dessa forma, tapando a parte de cima, a parte de baixo continuará refletida da mesma maneira”
27 (23%)	Apenas a metade inferior da imagem irá aparecer	“Como a imagem que vai se formar é invertida, a parte superior da vela emite feixes luminosos na parte inferior do espelho, e a parte inferior da vela emite feixe luminoso na parte superior do espelho.. ao taparmos a parte superior Dom espelho, só os raios da ponta de vela conseguem ser refletidos no anteparo”
9 (8%)	A imagem será menor e algumas vezes deslocada para cima ou para baixo	“Se diminuirmos à metade da lente a imagem formada será menor na posição em baixo do anteparo, porque só os raios luminosos de baixo da vela irão chegar ao anteparo”.
7 (6%)	Imagem será igual e talvez menos intensa	“Cada um dos pontos da vela emite infinitos raios. Uma parte desses raios é refletida pelo espelho e a imagem real é projetada no anteparo. De certa forma, cada ponto da vela emite um raio para cada ponto do espelho, que então reflete os raios para formar a imagem no anteparo. Se metade do espelho é tampada, uma menor quantidade de raios formará a imagem, embora ela continue inteira”.
8 (7%)	Outras : respostas confusas ou incompreensíveis	“Consegue refletir formando uma imagem maior”

Há uma diferença interessante nas respostas dos alunos cuja previsão era o aparecimento de apenas metade da imagem. Desses alunos, 65 raciocinaram que o espelho inverte a orientação da imagem após essa ser refletida no espelho e 27 pensam que a luz, ou a imagem, se inverte antes de chegar ao espelho e só então é refletida e projetada no anteparo. O primeiro raciocínio parece ser mais consistente com o uso dos alunos da teoria de Imagem Holística já que a imagem parece caminhar em linha reta e horizontal até atingir o espelho que a inverte. O segundo raciocínio parece ser mais consistente com o uso dos alunos da teoria de Imagem Projetada já que a imagem caminha em uma linha diagonal com a parte de baixo do objeto projetando a sua imagem para cima e a parte de baixo do objeto projetando a sua imagem para baixo, e as duas partes da imagem se cruzam antes de chegar ao espelho que as refletem na horizontal.

Tabela 6 – Espelho côncavo tampado na metade inferior

Frequência	Resposta	Explicação
65 (56%)	Apenas a metade inferior da imagem irá aparecer	“A luz emitida pelo objeto viaja em linha reta, é o espelho que inverte as posições. Dessa forma, tapando a parte de baixo, a parte de cima continuará refletida da mesma maneira”
27 (23%)	Apenas a metade superior da imagem irá aparecer	“Na situação B, pensei que tampando a parte de baixo do espelho a parte de cima da vela não apareceria, pelo fato da imagem aparecer invertida.”
9 (8%)	A imagem será menor e algumas vezes deslocada para cima ou para baixo	“Os raios incidentes na parte superior do espelho serão, nesse caso, convergidos para baixo, já que a concavidade do espelho ‘está virada para baixo’. A imagem será menor porque a área é menor e estará mais abaixo”
7 (6%)	Imagem será igual e talvez menos intensa (6 alunos)	“Eu usei o mesmo raciocínio nas duas questões. A imagem fica do mesmo tamanho em ambas as situações, e não se altera pois o foco e o vértice não mudam de posição”.
8 (7%)	Outras : respostas confusas ou incompreensíveis (17 alunos)	“Não sei como isso ficaria”

A resposta aparentemente correta, apresentada por apenas 7 alunos, foi rara. As respostas classificadas como outras apresentadas por 8 alunos, não puderam ser classificadas por não ter atributos em comum, ou foram incompreensíveis.

Algumas semanas após a aplicação desse questionário aplicamos outro, com basicamente as mesmas perguntas e duas questões a mais sobre o espelho côncavo. Esse questionário foi precedido da demonstração do experimento com o espelho côncavo onde a sua metade inferior e superior foi tampada. Os alunos puderam ver que a imagem permaneceu a mesma com apenas a diminuição de sua intensidade.

A tabela 7 abaixo mostra um resumo dos resultados desse questionário (questionário 2), respondido por 109 alunos, para as questões sobre o espelho côncavo onde o anteparo era deslocado para uma posição mais próxima ao espelho e mais distante do espelho (questão 4) e onde o anteparo era retirado e um observador tenta ver a imagem se colocando nas posições próxima e mais distante do espelho (questão 5 do apêndice 2). A questão do espelho côncavo com a metade superior coberta (questão 3), que foi objeto da demonstração antes da aplicação do questionário, foi respondida corretamente pela maioria dos alunos (95 ou 87%), como se esperava.

Tabela 7 – Respostas do questionário 2

Questão	Resposta	Freqüência
4	Correta	2
	Errada	107
5A	Correta	14
	Errada	95
5B	Correta	6
	Errada	103

Na tabela 7 foi feita uma categorização inicial apenas com as respostas corretas e erradas nas questões 4 e 5. Nas respostas erradas que os alunos tipicamente apresentam na questão 4 há menção de que a imagem fica ou maior ou menor, às vezes menos nítidas, mas sempre se forma. Na

questão 5A as respostas erradas típicas indicam a não formação de imagem, ou a formação de imagem no espelho ou ainda a imagem se forma, mas fica menos nítida. Na questão 5B as respostas erradas típicas indicam a observação de imagem de tamanho diferente e menos nítida. Os resultados acima mostram que os alunos provavelmente ainda estão raciocinando utilizando as mesmas teorias intuitivas.

CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou um estudo, ainda em andamento, do tipo de mudança conceitual que os alunos do segundo ano do ensino médio do Colégio Técnico da UFMG apresentam durante o processo típico de ensino, ao terem as suas teorias intuitivas desafiadas. Pesquisamos as suas concepções sobre formação de imagens em espelhos planos e côncavos, e a mudança conceitual dos alunos sobre a formação de imagens por espelhos planos e côncavos.

Os alunos, ao final do processo de ensino, parecem ainda utilizar uma teoria intuitiva do tipo Imagem Holística, onde imagem do objeto é representada uma entidade real e independente do observador que de alguma maneira é emitida pelo objeto como se fossem fotografias em movimento, ou uma teoria do tipo Imagem Projetada, onde a imagem tem as mesmas propriedades anteriores, mas não é transportada como um todo e sim decomposta em um conjunto de pontos que representam cada ponto do objeto, sendo então esses pontos transportados pelos raios de luz.

O trabalho mostra claramente a complexidade do processo de mudança conceitual. Raramente há uma mudança ou reestruturação conceitual plena. Ao contrário, ao serem desafiados os alunos fazem no máximo mudanças pontuais. Essas mudanças vão desde assimilação do conflito como um fato anômalo, uma exceção, que não exige nenhuma mudança nas suas teorias intuitivas ou implícitas, até mudanças no cinturão protetor (LAKATOS, 1979) sem quem isso altere o seu núcleo central. Os resultados apresentados neste trabalho mostram evidência desse processo. Os alunos mesmo após serem confrontados com uma violação clara de suas concepções não as mudam. Acrescentam o caso anômalo à sua teoria e o tratam como uma exceção que deve ser memorizada. Ao serem apresentados a novas situações nunca antes vistas os alunos utilizam as mesmas teorias intuitivas para fazerem previsões, como aconteceu nas questões 4 e 5 no questionário 2, e cometem erros.

Utilizando o modelo de Pozo apresentado antes podemos verificar que todos os alunos reconheceram o conflito entre a demonstração e as suas teorias, embora alguns alunos aparentemente não tomaram consciências da insuficiência de sua teoria para explicar o fenômeno já que responderam incorretamente à questão 3. Mesmo reconhecendo o conflito a maior parte dos alunos apresentou uma resposta tipo α ou tipo β e quando desafiados a fazer previsões sobre novos fenômenos cometeram erros. No ponto em que o trabalho está ainda não foi possível identificar quantos alunos estão demonstrando resposta do tipo α e quantos estão demonstrando resposta do tipo β já que o trabalho ainda está em andamento, mas com certeza há poucas evidências de alunos que tenham reestruturado completamente a sua estrutura conceitual e que apresente uma resposta do tipo γ . O modelo de mudança conceitual descrito neste trabalho se mostrou muito útil na análise das respostas dos alunos e na compreensão do processo de aprendizagem deles.

As implicações para o ensino de Física são muitas. A reestruturação plena dos conceitos raramente, ou talvez nunca, ocorre em situações típicas de sala de aula. Essa reestruturação só parece ser possível através de um processo longo e demorado onde o aluno é desafiado várias vezes e com isso modifica aos poucos as suas teorias intuitivas sobre um certo domínio do conhecimento, até incorporá-las em uma teoria mais ampla que aumente a sua capacidade de previsão e de representação desse domínio. Isso demanda tempo e um trabalho dedicado dos alunos o que nem sempre é possível, seja por causa do limite de tempo que o professor e os alunos têm para trabalhar a aprendizagem, seja pela falta de motivação dos alunos que não querem investir tanto tempo e esforço em uma disciplina que não gostam.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, O.. Mudanças conceituais (ou cognitivas) na Educação em Ciências: Revisão crítica e novas direções para a pesquisa. *Ensaio – Pesquisa em educação em ciência*. Vol. 3, n. 1, pp. 67-86, 2001.
- AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D., HANESIAN, H. (1978); *Educational Psychology: a cognitive view*. (2nd. Ed) New York, Holt, Rinehart and Winston, 1978. 733p. trad.: *Psicologia Educacional*. Rio de Janeiro, Ed. Interamericana, 1980. 625p.
- BORGES, A.T. Como evoluem os modelos mentais. *Ensaio – Pesquisa em educação em ciência*. Vol. 1, n. 1, set, pp. 85-125, 1999.
- BORGES, A.T. e GILBERT, J.K. Mental models of electricity. *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 21, n. 1, pp. 95-117, 1999.
- BRANSFORD, J. D; Brown, A. L.; COCKING, R. R. (1999); *How people learn: brain, mind, experience and school*. Committee on Developments in the Science of Learning. Commission on Behavioral and Social Sciences and Education. National Research Council.
- CHI, M. T. H; GLASER, R.; FARR, M. J. (1988); *The Nature of Expertise*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, New Jersey, 1988.
- DAMASO, A. (1996). *O erro de Descartes*. São Paulo. Ed, companhia de letras.
- DiSESSA, A., SHERIN, L. (1998). What change in conceptual change? *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 20, n. 10, pp. 1155-1191
- DRIVER, R., GUESNE, E., TIBERGHIE, A. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid. Ed. Morata, 1985
- ERICSSON, K.A., e SMITH, J. *Toward a general theory of expertise*. Cambridge University Press, 1991.
- GALILI, I., GOLDBERG, F. , BENDALL, S.. (1991); some reflection on plane mirrors and images. *The Physics Teacher*, October, 1991 pp. 471-477
- GALILI, I., HAZAN, A. (2000); Learners' knowledge in optics: interpretation structure and analysis. *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 22, n. 1, pp. 57-88
- GENTNER, D. e STEVENS, A.L. *Mental Models*. New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, Inc. , Publisher, 1983.
- HALLOUN , I.A. e HESTENES, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *Am. J. Phys.* Vol 53, pp 1043-1055.
- LAKATOS, I. (1979). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo. Editora Universidade de São Paulo
- LABURÚ, C. E. (2004) Análise de situações de controvérsias e conflitos através de uma leitura Lakatiana (Uma aplicação na aprendizagem de cinemática angular) - *Investigações em ensino de ciências* .vol. 08, n 1...
- LINDEMAN, R. H. (1976) – *Medidas educacionais – Testes objetivos e outros instrumentos de medida para a avaliação da aprendizagem* – 1^a edição. Porto Alegre. Editora Globo. Traduzido por Leonel Vallandro
- MCDERMOTT , L.C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*. July, pp 2-10.
- MORTIMER, E. F. (1995); Construtivismo, Mudança conceitual e Ensino de Ciências: Para Onde Vamos? – *Investigações em ensino de ciências* .vol. 01, n 3..
- PINKER, S. (1998). *Como a mente funciona*. São Paulo. Ed. Companhia de letras.
- POZZO, J. I. (1998). *Teorias cognitivas da aprendizagem*. Porto Alegre. Ed. Artmed.
- POZZO, J. I. (2002); La Adquisicion de conocimiento científico como um proceso de cambio representacional. *Investigações em ensino de ciências*.07 (3)..
- TALIM, S.L., OLIVEIRA, J., LEBOEUF, H.A. (1998). Construção e Validação de um Teste para Verificar a Compreensão das 1^a e 3^a Leis de Newton. In: V ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, Águas de Lindóia. *Anais*.

TALIM, S.L (1999) Dificuldades De Aprendizagem Na Terceira Lei De Newton. *Caderno. Catarinense de Ensino de Física*. Vol 16, n. 2, pp 143-153.

TALIM, S.L., 2004). Construção e Validação de um Teste para Verificar a Compreensão das 1ª e 3ª Leis de Newton. In: IX ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, Jaboticatubas. *Anais*.

WANDERSEE, J H., et al (1993). Research on Alternative conceptions in Science. In: GABEL, D.L. (Ed), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*.. New York, MacMillan Publishing Company.