



O ENTENDIMENTO DOS ESTUDANTES DO TERCEIRO NÍVEL DE UM CURRÍCULO RECURSIVO SOBRE NATUREZA DA LUZ

THE UNDERSTANDING OF THE STUDENTS OF THE 3RD YEAR OF A RECURSIVE CURRICULUM ABOUT NATURE OF LIGHT

Geide Rosa Coelho^{a,1}
Oto Borges^{b,2}

a Universidade Federal de Minas Gerais/Programa de Pós-Graduação em Educação: conhecimento e Inclusão Social /e-mail (geidecoelho@gmail.com)

b Universidade Federal de Minas Gerais /Colégio Técnico/ Programa de Pós-Graduação em Educação: conhecimento e Inclusão Social /(oto@coltec.ufmg.br & otoborges@ufmg.br)

Resumo

Relatamos um estudo no qual investigamos o entendimento dos estudantes, da terceira série do ensino médio, sobre a natureza da luz. Esse estudo foi realizado em um ambiente curricular no qual os conteúdos são organizados de forma recursiva e em espiral. Para avaliar o entendimento dos estudantes sobre essa temática, desenvolvemos um instrumento qualitativo e criamos um sistema categórico hierarquizado constituído de cinco modelos sobre natureza da luz. O mesmo instrumento foi aplicado em duas ocasiões distintas em um intervalo de 10 meses, dessa forma tivemos acesso ao entendimento dos estudantes ao iniciar e ao encerrar o terceiro nível de um currículo recursivo. Os resultados indicam que os estudantes possuem um alto conhecimento prévio e ao encerrar a terceira série a maior parte deles mobiliza os modelos eletromagnético, corpuscular ou modelo dual, mas com alguns estudantes apresentando inconsistências em suas explicações.

Palavras-chave: Educação e Ciência, Ensino de Física, currículo recursivo, modelos hierárquicos, natureza da luz.

Abstrat

We report on this document an understanding of students, the 3rd year of high school, about the nature of light. This study has been made in an environment in which the curriculum was organized recursive and spiral. To assess the understanding of the students, we develop a qualitative tool and we create a categorical hierarchical system with five different models about nature of light. The same tool was used in two different opportunities with a break of ten months each, so we could see the students understanding in the beginning and at the end of the 3rd year of high school. The results indicate that students have a high prior knowledge and by the end of the 3rd year they have most of them recognizing the models electromagnetic, corpuscular or dual model, but with some students presenting inconsistencies in their explanations.

Keywords: Science and Education, Physics Teaching, recursive curriculum, hierarchical models, nature of light.

¹ Apoio parcial FAPEMIG

² Apoio CNPq

INTRODUÇÃO

Neste trabalho relatamos um estudo no qual investigamos o patamar de entendimento dos estudantes, da terceira série do ensino médio, sobre a natureza da luz. Partimos do princípio que a retomada de um conteúdo em diferentes momentos, com boas situações de aprendizagem, poderia promover maior entendimento dos conceitos envolvidos em um determinado campo de conhecimento. Para avaliar o entendimento dos estudantes sobre essa temática, desenvolvemos um instrumento qualitativo e criamos um sistema categórico baseado em modelos hierárquicos para analisar as suas respostas.

O estudo desenvolvido e relatado nesse artigo faz parte de uma pesquisa instrumental, na qual desenvolvemos instrumentos qualitativos para acessarmos o entendimento conceitual dos estudantes e avaliarmos sua aprendizagem em física. Além do instrumento apresentado nesse artigo, desenvolvemos outro que gerou dois estudos (Coelho e Borges, 2006, 2008), nos quais acessamos o entendimento dos estudantes sobre a física envolvida no funcionamento de circuito elétrico simples. Esses instrumentos qualitativos permitem obter resultados de forma rápida e simples informações de ambientes reais de aprendizagem e possibilitam consorciar técnicas qualitativas e quantitativas para análise dos dados.

Existe na literatura um número considerável de trabalhos referentes ao pensamento dos estudantes sobre as propriedades da luz e a sua relação com o processo de visão, mas é incipiente os estudos que investigam o entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz. Dentre esses estudos destacamos os trabalhos de Smit e Finegold (1995), Paulo e Moreira (2005) e Hubber (2006). Um resultado comum desses estudos é a identificação de “modelos híbridos”³ nas explicações dos estudantes, ou seja, os estudantes conciliam simultaneamente em suas respostas, características dos dois modelos científicos sobre a natureza da luz (modelo corpuscular, proposto por Max Planck e Einstein e modelo ondulatório eletromagnético proposto por Maxwell). A luz entendida como pacote de ondas ou interpretada como uma onda eletromagnética que se propaga como partícula e o fóton entendido como sendo, ao mesmo tempo, uma entidade de natureza ondulatória e corpuscular, são comuns nas respostas dos estudantes.

O CONTEXTO DA PESQUISA: O CURRÍCULO EM ESPIRAL

Essa investigação foi realizada em um ambiente curricular, no qual os conteúdos de física são organizados de forma recursiva e em uma estrutura espiralada de três níveis. Nessa estrutura curricular, os estudantes fazem um “passeio” pelas diversas temáticas da Física, com diferentes níveis de complexidade em cada uma das três séries do ensino médio. Dessa forma, os conceitos não são esgotados em um primeiro momento e os estudantes não têm, necessariamente, que aprender um determinado conteúdo em seu primeiro contato, pois haverá oportunidade de revê-lo nas outras séries aumentando as chances de aprendizagem desses conceitos.

A noção de organização do currículo em espiral foi proposta pelo psicólogo Jerome Bruner, em seu livro “O processo da educação” (1968)⁴. Este livro foi elaborado a partir das discussões ocorridas na famosa conferência de Woods Hole e como na conferência, são abordados quatro temas: a estrutura das disciplinas, a teoria de aprendizagem, a natureza do pensar e a motivação para aprender. Nas discussões sobre a teoria da aprendizagem, o autor propõe a ideia do currículo em espiral, partindo da premissa que qualquer assunto pode ser ensinado de forma honesta a qualquer criança em desenvolvimento respeitando o seu modo de pensar.

³ Esse termo foi introduzido por Hubber (2006)

⁴ O livro é uma tradução do original “The Process of Education”(1960) por Lólio Lourenço de Oliveira pela Companhia Editora Nacional em 1968.

Como parte do esforço de desenvolver o terceiro nível do currículo recursivo, buscou-se não apenas redesenhar os ambientes de ensino, mas coletar dados, em situações ecologicamente válidas, para inferir sobre o progresso dos estudantes e sobre os efeitos dos ambientes de aprendizagem em que foram realizadas as modificações. A análise deste tipo de dado nos permite não apenas atuar redirecionando nossa ação mais imediata, mas também nos permite acumular evidências sobre as vantagens, ou desvantagens, da adoção de um currículo recursivo e em espiral, para organizar o curso de física no nível médio. No presente trabalho, apresentamos a análise de dados coletados para acessar o entendimento dos estudantes do terceiro nível do currículo recursivo sobre a natureza da luz.

DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Sujeitos da pesquisa

Participaram dessa pesquisa 134 estudantes da 3ª série do ano de 2005, correspondendo ao terceiro nível do currículo recursivo, de uma instituição federal de ensino (IFE). Ela oferta, desde 1998, ensino médio e o ensino tecnológico de nível médio (ETM) nas modalidades de eletrônica, instrumentação, patologia clínica e química. Há duas formas de ingresso nesta escola: concurso público para o curso médio concomitante com curso técnico (ETM) e por mera progressão do ensino fundamental para o ensino médio (EM). A última forma só é acessível aos estudantes de uma escola de educação fundamental mantida pela mesma IFE. Essa diferenciação por curso, que na história da escola se reflete em diferentes vocacionamentos em relação à física – uma pessoa é vocacionada se ela apresenta uma disposição cognitiva, afetiva que orienta o seu interesse e o seu engajamento no sentido uma atividade, neste caso de estudar e aprender física. Além desta há uma diferenciação devido a um sistema de cotas sócio-econômicas adotado desde 1972.

Os estudantes que cursam ETM ingressam na escola sem optar pelas modalidades de cursos técnicos. O currículo da primeira série é comum a todos os cursos e turmas. Ao final da primeira série os estudantes de ETM optam por um dos cursos técnicos ofertados e, se necessário, são selecionados com base nos desempenhos das diversas disciplinas. A partir da segunda série a escola adota um esquema de turmas segundo o curso, tanto nos cursos técnicos quanto no ensino médio. As atividades de ensino médio concentram-se em um dos turnos e as atividades de ensino técnico no outro. Os currículos para os estudantes de ETM tornam diferenciados a partir da segunda série, mas apenas no que diz respeito ao ensino técnico. O ensino médio continua o mesmo para todas as turmas.

No caso da disciplina física, os estudantes de todas as turmas de cada série são ensinados respeitando-se o mesmo programa de conteúdos e de atividades. Ao final da segunda série os estudantes já teriam estudado todos os conteúdos de física usuais em programas de ensino médio e em um nível compatível com um livro texto de volume único. Em atividades de sala de aula, tiveram o equivalente a uma carga horária de 4 horas semanais, sendo que 1 hora em atividades práticas no laboratório. Em cada série os estudantes são avaliados por instrumentos comuns e alguns deles aplicados na mesma ocasião.

No caso da série investigada, a presença de estudantes repetentes é residual. Assim podemos assumir que, em geral, os estudantes entraram na escola em 2003. A série estava organizada em 6 turmas de ensino médio: uma para o ensino médio (21 estudantes), uma para os estudantes do curso técnico de química (31 estudantes), uma para os estudantes do curso técnico de patologia clínica (23 estudantes), duas para os estudantes do curso técnico de eletrônica (17 e 18 estudantes) que, para fins de análise, foram agrupadas em uma única turma e uma para os estudantes do curso técnico de instrumentação industrial (24 estudantes). Uma caracterização mais ampla das experiências escolares dos estudantes não pode ser dada. Entretanto, mencionamos as variáveis que nos parecem relevantes para o nosso estudo.

Dos 134 estudantes da terceira série do ensino médio, analisamos os dados de 106 estudantes. Essa diferença entre o total de estudantes da série e os estudantes efetivamente investigados, se deve ao fato de alguns estudantes não participarem dos dois momentos de medida.

Instrumento de coleta de dados e a lógica de investigação

Para acessar o entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz, desenvolvemos um instrumento qualitativo. Esse tipo de instrumento permite evidenciar o entendimento dos estudantes através de modelos que eles utilizam em suas explicações.

O instrumento consiste em uma tarefa envolvendo uma dissertação sobre uma situação física. Nessa dissertação os estudantes tiveram que responder a seguinte questão: *O ano de 2005 foi considerado o ano mundial da Física. Ele foi assim declarado pela ONU em comemoração ao centenário dos trabalhos científicos publicados por Einstein em 1905. Dois deles estão diretamente ligados à natureza da luz. A questão da natureza da luz preocupou filósofos e físicos, como Galileu, Newton, Maxwell, Einstein e Bohr. Para verificar seu entendimento sobre o tema escreva um texto respondendo a questão: o que é a luz?*

Testamos os estudantes da terceira série em duas ocasiões distintas, com um intervalo de 10 meses. Em cada uma dessas ocasiões os estudantes realizaram a mesma tarefa, apresentada da mesma forma. A primeira aplicação foi feita logo no início do ano letivo, quando os estudantes não tinham contato com o conteúdo de eletricidade naquele ano (como o currículo está organizado em uma espiral de três níveis, os estudantes já tiveram contato com essa temática nas duas primeiras séries do ensino médio). A segunda aplicação foi feita no final do ano letivo, quando os estudantes já tinham feito o último contato com o conteúdo, fechando assim o ciclo do currículo espiral.

Em Coelho (2007a) e Coelho e Borges (2007b), relatamos um estudo sobre a evolução do pensamento dos estudantes sobre a natureza da luz. Nesse trabalho, apesar de apresentar dados sobre as duas ocasiões de medida, o foco principal não está em discutir, de forma exaustiva, sobre a evolução no pensamento dos estudantes nesse domínio e sim apresentar o nível de entendimento dos estudantes da terceira série que corresponde ao último nível do currículo recursivo e espiralado.

ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi realizada conciliando métodos qualitativos e quantitativos. Em um primeiro momento, apresentaremos a análise qualitativa utilizada para a construção do nosso sistema de categorias (que foi fundamentado em termos dos modelos hierárquicos sobre natureza da luz) e também na apresentação de respostas típicas que exemplificam cada uma das categorias. Em um segundo momento, descrevemos o tratamento quantitativo que utilizamos com o intuito de coletar evidências sobre o patamar de entendimento dos estudantes ao final da terceira série do ensino médio e sobre o desenvolvimento do pensamento dos estudantes ao longo da série investigada.

Análise qualitativa

Criação do sistema categórico

Antes de iniciar a análise dos dados, realizamos um procedimento para o mascaramento dos estudantes, por isso, cada estudante foi identificado por um código constituído por uma letra e uma seqüência de três números. Esse procedimento foi importante por dois motivos principais: (i) Como éramos professores de quatro turmas que fizeram parte desse estudo, esse procedimento nos permitiu evitar qualquer viés interpretativo, mesmo considerando que as

respostas dos estudantes foram analisadas no ano posterior a coleta de dados e (ii) temos o compromisso de manter a privacidade e anonimato dos sujeitos participantes do estudo.

Uma primeira leitura das respostas dos estudantes foi realizada, para elencar as diversas concepções sobre a natureza da luz. Uma segunda leitura foi feita para verificar a existência de novas concepções, que não foram apreendidas durante a primeira leitura. Depois do levantamento das concepções dos estudantes, iniciamos o processo de construção do nosso sistema de modelos hierárquicos para categorização das respostas.

Admitimos uma hierarquia entre os modelos que compõe o nosso sistema categórico, por isso, consideramos a evolução histórica dos modelos sobre a natureza da luz uma ferramenta importante na construção dessa hierarquia. Consideramos como menos sofisticadas as respostas na qual eles não recorrem a modelos em suas explicações e consideramos mais sofisticadas as respostas que os estudantes lançam mão dos modelos científicos referentes à natureza da luz, considerando o mais sofisticado o modelo que descreve o comportamento dual da luz. Apesar do modelo 3 não remeter ao processo evolutivo dos modelos sobre a luz, essa categoria foi incluída pela necessidade de apontar para algumas inconsistências presentes nas concepções dos estudantes referentes aos modelos científicos da luz.

Outra observação importante relacionada à construção desse sistema categórico se refere a não dissociação dos modelos corpusculares e ondulatórios da luz, nos modelos 2 e 4, pois ao longo da evolução histórica da teoria da luz esses dois modelos coexistiram paralelamente durante um longo período de tempo e uma separação poderia acarretar em um caráter valorativo de um modelo em relação a outro. No modelo 1, especificamente nos submodelos 1.1 e 1.2, encontramos algumas concepções alternativas dos estudantes sobre a luz que são relatadas na literatura específica⁵. O sistema categórico é apresentado no quadro 1.

Quadro1: Modelos e submodelos sobre natureza da luz e suas características

	Características
Modelo 1	Modelo primitivo
Modelo 1.1	Os estudantes apresentam suas ideias de uma forma pouco inteligível. Alguns não reconhecem a luz como entidade física, mas se referem a ela como uma substância ou “alguma coisa” que é emitido por uma fonte luminosa. Os estudantes fazem distinção entre as diferentes formas de manifestação da luz, como, por exemplo, “luz ambiente” e “luz elétrica”. Nessa categoria, também foram incluídas as respostas nas quais os estudantes associam a luz solar a processos vitais.
Modelo 1.2	Os estudantes ao explicitarem seu entendimento, admitem que a luz seja constituída de raios ou de ondas. Nessa perspectiva essas representações, que são utilizadas para falar da luz, são interpretadas como cópias da realidade. Alguns estudantes ao se referirem à onda associam a forma de propagação no meio como se fosse uma perturbação ondulatória produzida em uma corda.
Modelo 1.3	Os estudantes fazem referência às propriedades da luz (propagação retilínea, velocidade de 300000 Km/s) ou citam alguns fenômenos (interferência, reflexão, difração, transmissão, dispersão da luz branca). Foram incluídas nessa categoria, as respostas às quais os estudantes focaram suas respostas no processo de emissão da luz.
Modelo2	Luz como partícula ou luz como onda
Modelo 2.1	Nessa categoria foram incluídas as respostas dos estudantes que reconhecem a luz como se fosse constituída de partículas.
Modelo 2.2	Nessa categoria foram incluídas as respostas dos estudantes que definem a luz como sendo uma onda.
Modelo 3	Variações dos modelos eletromagnético, corpuscular ou dual da luz
Modelo 3.1	Os estudantes lançam mão dos modelos científicos (modelo ondulatório eletromagnético, o corpuscular com a hipótese do fóton ou modelo dual) para falar sobre a luz, mas as suas respostas apresentam elementos de erro ou se apresentam de maneira incompleta em relação às dimensões desses modelos.

⁵ ver DRIVE ET AL (1996) no capítulo 2 escrito por Edith Guesne.

Modelo 3.2	Ao expressar o seu entendimento sobre o comportamento dual da luz, os estudantes não conseguem reconhecer a distinção entre os modelos ondulatório e corpuscular, sendo visto como um único modelo. Eles apresentam “modelos híbridos”. da luz por associar simultaneamente elementos dos dois modelos.
Modelo 4	Luz como onda eletromagnética ou luz constituída por fótons
Modelo 4.1	Os estudantes lançam mão do modelo ondulatório eletromagnético idealizado por Maxwell no final do século XIX para falar da luz.
Modelo 4.2	Os estudantes lançam mão do modelo corpuscular, com a hipótese do quantum de energia, idealizada por Max Planck e Einstein no início do século XX e posteriormente utilizado por Einstein, para explicar o efeito fotoelétrico.
Modelo 5	Luz apresentando um comportamento dualístico
	Os estudantes reconhecem que a luz pode se comportar de duas formas diferentes. Nessa perspectiva eles admitem a existência de duas teorias que explicam o comportamento da luz. Comportamentos esses que em algumas circunstâncias é explicado pelo modelo ondulatório eletromagnético e modelo corpuscular com a hipótese do fóton.

Categorização das respostas dos estudantes

Nesse momento, apresentamos alguns exemplos típicos de respostas dadas pelos estudantes e que foram categorizadas de acordo com modelos descritos anteriormente. Por exemplo, o estudante A 179 dá a seguinte resposta para a questão: “*A luz é necessária para a sobrevivência dos seres vivos e utilizadas para muitas pesquisas. Luz são partículas em raios que dá claridade aos planetas e calor*”. Trata-se de uma resposta típica do modelo 1. O estudante não mobiliza nenhum modelo para falar sobre a luz e simplesmente associa a luz a processos vitais e sua relação com a capacidade de tornar “claro” o ambiente e as coisas observáveis. Nessa resposta, também encontramos elementos do modelo do “modelo realístico” descrito por Grosslight et. al. (1991) ao dizer que a luz é composta por partículas em raios.

No modelo 2, foram incluídas as respostas nas quais os estudantes reconhecem a luz como onda ou como partícula. O estudante A160, por exemplo, diz que “*A luz pode ser designada como uma onda. Ao decompor a luz, observamos que a mesma é constituída de cores, como exemplo, o violeta. As mesmas possuem energia diferente, ou seja, uma é mais energética que a outra*”. Para esse estudante a luz é explicada pelo modelo ondulatório. Ainda nessa resposta o estudante associa a luz ao espectro da luz branca e chama atenção para um importante fenômeno: a dispersão da luz.

As diferenças entre os modelos corpusculares e ondulatórios presentes na categoria 2 e na categoria 4 estão associadas ao aspecto histórico na evolução desses modelos. Em relação ao modelo corpuscular, na categoria 4 foi introduzido a hipótese de um quantum de energia no modelo que foi proposto no início do século XX. Da mesma forma, o modelo ondulatório proposto na categoria 4, corresponde ao modelo eletromagnético proposto por Maxwell ao final do século XIX. Para ilustrar respostas que foram incluídas no modelo 4 vejamos o que os estudantes A207 e A134 responderam:

“A luz é uma liberação de energia através dos fótons, na transição de camadas dos elétrons de uma camada exterior, para uma mais interna. Sua velocidade é de 3×10^8 m/s.” (A 207).

“Luz é uma sucessão de variações dos campos elétricos e magnéticos, sendo que a variação de um campo elétrico gera um campo magnético variável e a variação do campo magnético gera um campo elétrico variável. A luz, porém, é classificada como ondas desse tipo (ondas eletromagnéticas) que o olho humano consegue captar. Ela se propaga no vácuo a aproximadamente 30000 Km/s e sua velocidade depende do meio onde ela está”.(A134)

Na resposta do estudante A207 reconhecemos a natureza corpuscular com a hipótese do quantum de energia presente no processo de emissão de luz. Já o estudante A134, explica como é produzida uma onda eletromagnética e considera a luz um tipo de radiação com esse comportamento ondulatório.

No modelo 5, os estudantes reconhecem a existência de dois modelos cientificamente aceitos para falar sobre a luz: o modelo previsto pela teoria eletromagnética e o modelo corpuscular com a introdução do quantum de energia. A resposta dada pelo estudante A108 é típica desse modelo:

“Pode-se dizer que a luz possui um comportamento dual, sendo que em fenômenos como interferência ou difração ela é considerada onda eletromagnética e em outros como o efeito fotoelétrico (explicado por Einstein) ela é considerada como um conjunto de partículas (pacotes de energia) denominadas fótons que em contato com superfícies metálicas podem arrancar elétrons das mesmas, já que o contato entre o fóton e o elétron transmite energia do primeiro para o segundo a qual pode ser suficiente para arrancá-lo. E relação ao seu caráter ondulatório a luz, a luz pode ser considerada a parte visível do espectro eletromagnético possuindo valores de frequências específicos.” (A108)

As respostas que compõem o modelo 5, são geralmente expressas em termos do princípio da complementaridade proposto por Bohr. Esse princípio estabelece que *“os aspectos ondulatórios e corpusculares de uma entidade quântica são ambos necessários para uma descrição concreta. Entretanto, os dois aspectos não podem ser revelados simultaneamente num único experimento. O aspecto que se revela é determinado pela natureza do experimento que está sendo realizado”*(Halliday et al, 1996, p.166).

Alguns estudantes também expressam seu entendimento em termos desse princípio de complementaridade, mas apesar disso, não foram classificadas como pertencentes ao modelo 5, isso porque, em suas respostas encontramos elementos de erro ou se mostraram incompletas em relação ao comportamento dual da luz. Nesse caso essas respostas foram classificadas como pertencentes ao modelo 3. A resposta dada pelo estudante A193 exemplifica bem essa afirmação:

“O principal debate sobre a natureza da luz está relacionado ao seu comportamento dual, sendo classificada ora partícula, ora como onda. Pode ser considerada como partícula por conduzir em si elétrons e sofrer alterações, tais como refração e reflexão. E como onda eletromagnética por não precisar de um meio para se propagar.” (A193)

Na resposta do estudante A193 encontramos elementos de erro quando ele considera a luz sendo constituída de elétrons para definir seu comportamento corpuscular.

Assim como nos trabalhos de Smit e Finegold (1995), Paulo e Moreira (2005) e Hubber (2006), nesse estudo também encontramos “modelos híbridos” da luz que, no nosso sistema categórico, pertence ao modelo 3. De acordo com esse modelo, os estudantes associam simultaneamente elementos das duas teorias científicas da luz. Encontramos basicamente quatro variações desse modelo: (i) A luz é constituída por fótons que possuem comportamento dual; (ii) A luz é constituída por fótons que se propagam em forma de ondas eletromagnéticas; (iii) A luz é considerada ao mesmo tempo como onda e partícula; (iv) A luz é uma onda eletromagnética que apresenta comportamento corpuscular ou é constituída por fótons. Esse modelo é o mais frequente entre os estudantes. Apresentamos respostas que ilustram dois dos quatro “modelos híbridos” que nós identificamos:

“Luz são partículas muito pequenas (fótons) que se propagam em forma de ondas eletromagnéticas transferindo energia de um ponto a outro. As ondas com comprimento de onda de aproximadamente 10^7 são visíveis pelo homem. Ainda existem muitos estudos em relação a luz sendo essa apenas a mais plausível delas.” (A191)

*“Há um grande discussão em torno da natureza da luz, pois esta apresenta um comportamento dual. Ela possui características de partículas e ao mesmo tempo de ondas eletromagnéticas. No primeiro caso ela é considerada com um conjunto de
“A luz é ao mesmo tempo uma onda eletromagnética que é constituída de partículas, chamadas fótons.” (A101)*

Análise quantitativa

Para atender ao nosso propósito de pesquisa, organizamos os nossos dados em tabelas e gráficos de barras, dessa forma tínhamos a possibilidade de observar a concentração de estudantes em cada um dos modelos nas duas ocasiões de medida (ao iniciar e ao terminar o terceiro nível do currículo recursivo). Apesar do nosso objetivo principal ser determinar o patamar de entendimento dos estudantes na terceira série do ensino médio, usamos o teste de homogeneidade marginal, que é adequado para testar a homogeneidade em categorias multinominais e ordenadas (Agresti, 2002, cap.10), para verificar se houve progresso nos modelos mobilizados pelos estudantes entre as duas ocasiões de medida ou se as diferenças observadas podem ser explicadas pelo acaso.

Os testes estatísticos partem das seguintes premissas: (i) existe um elemento responsável por causar diferenças; (ii) as diferenças encontradas podem ser causadas por mero acaso ou podem ser causadas pelas variáveis que pretendemos determinar. A partir desses pressupostos o teste indicará através de um valor o numérico, que depende tipo da estatística utilizada, a probabilidade das diferenças acontecerem por mero acaso. Esse valor numérico é conhecido como a significância estatística.

O teste de homogeneidade marginal está disponível no programa Statxact 6 que apresenta um conjunto de pacotes estatísticos com amplas possibilidades para o desenvolvimento de diversos processos analíticos, principalmente inferências não-paramétricas exatas. Para determinar se o resultado é significativo utilizamos o seguinte raciocínio: se a probabilidade encontrada no teste for maior que o nível de significância inicialmente definido, as diferenças são melhores explicadas pela hipótese nula associada ao teste. Na hipótese nula desse teste, aceitamos que não existe uma diferença no padrão de resposta dos estudantes nas duas ocasiões de medida e qualquer diferença observada é explicada pelo acaso. Caso a probabilidade seja menor que o nível de significância do teste, as diferenças são atribuídas à variável testada. Estamos tomando como o valor crítico de significância estatística em torno de 5% ($\alpha=0,05$). Nesse estudo, consideramos que a evolução nos modelos dos estudantes pode ser explicada pelo possível efeito de aprendizagem, devido o reestudo da óptica e da física moderna no terceiro nível do currículo recursivo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Prevendo a performance dos estudantes

A noção científica da luz não parece comum entre as crianças. Em um teste de múltipla escolha sobre como uma lâmpada ilumina uma sala Anderson e Smith⁶, (citado em Driver et al,

⁶ Anderson, C.W.; Smith, E. L. (1983) children's conceptions of light and color: developing the concept of unseen rays, artigo apresentado no encontro anual da AERA (American educational research Association), Montreal, Canada.

1994) encontraram que mais de 75% da amostra de 227 estudantes não escolheram as respostas cientificamente corretas, elas preferiram responder especificando os mecanismos que fazem a lâmpada brilhar.

Nesse momento do nosso estudo, preocupamos em investigar o pensamento dos estudantes sobre a natureza da luz e seria provável encontrarmos um resultado próximo ao encontrado no estudo descrito no parágrafo anterior, se o nosso instrumento fosse aplicado para as crianças no início do ensino fundamental. Por isso, seria esperado que essas crianças mobilizassem os submodelos 1.1 e 1.2 em suas respostas, e o modelo 1.3 no final do ensino fundamental, período no qual os estudantes tomam contato com o campo da óptica, com ênfase nos processos associados ao fenômeno da visão. O fato das crianças no início da escolarização não terem contato formal no campo da óptica física ou geométrica, contribui para que suas concepções sobre os fenômenos luminosos sejam apoiadas em suas experiências cotidianas.

Os modelos sobre a natureza da luz, tradicionalmente são apresentados aos estudantes no ensino médio e por isso, não esperamos que os estudantes tivessem uma grande representatividade nos modelos 2, 3, 4 e 5 ao final do ensino fundamental. Entretanto, esperamos que ao encerrar a terceira série do ensino médio, os estudantes estejam mobilizando com maior representatividade os modelos 4 ou 5 com uma forte tendência de evolução para o modelo 5, já que eles teriam reestudado o tema. Os modelos 4 e 5 abarcam as concepções científicas da luz e apresentam um conjunto de pressupostos teóricos e propriedades abstratas em sua estrutura.

Em relação ao modelo 3 do nosso sistema categórico sobre a natureza da luz, é possível que na primeira série do ensino médio, tenhamos uma grande representatividade dos estudantes utilizando-o em suas explicações. Nesse modelo, os estudantes apresentam seu entendimento de forma parcialmente correta em relação aos modelos científicos ou consorciaram ideias híbridas em seu pensamento. Vosniadou (2002) argumenta que essas concepções alternativas são causadas pelas tentativas dos estudantes reconciliarem partes das informações que são compatíveis com suas experiências anteriores, com as informações adquiridas durante a instrução formal na sala de aula, nesse caso nas aulas de física.

O patamar de entendimento dos estudantes

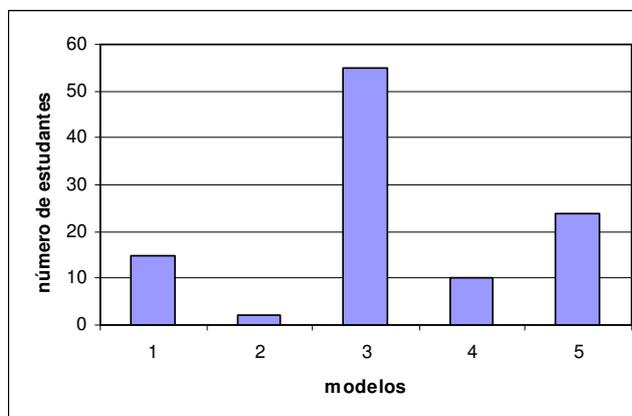
Ao iniciar o terceiro nível do currículo recursivo.

Na tabela 1 e no gráfico 1, apresentamos a concentração de estudantes em cada um dos modelos na primeira ocasião de medida.

Tabela 1: Frequência dos modelos dos estudantes sobre a natureza da luz ao iniciar a terceira série

Natureza da luz		
Modelo	Frequência	Porcentagem (%)
1	15	14,2
2	2	1,9
3	55	51,9
4	10	9,4
5	24	22,6
Total	106	100,0

Gráfico 1: Frequência dos modelos dos estudantes sobre a natureza da luz ao iniciar a terceira série.



No primeiro momento de medida os estudantes têm maior representatividade no modelo 3 (51,9% dos estudantes), no qual as concepções que representam esse modelo possuem elementos das teorias científicas com algumas inconsistências ou se apresentarem de maneira incompleta em relação às dimensões das teorias científicas. Mobilizando os modelos 4 e 5 temos cerca de 32 % dos estudantes e é residual o número de estudantes que mobilizam o modelo 2. Destacamos também que ao iniciar o terceiro nível do currículo recursivo, encontramos aproximadamente 86% dos estudantes utilizando os modelos 2,3,4 e 5, podemos interpretar esse fato como um fator positivo em relação ao nível epistemológico dos estudantes, pois, eles reconhecem mesmo com algumas inconsistências, que podemos falar da luz através de modelos.

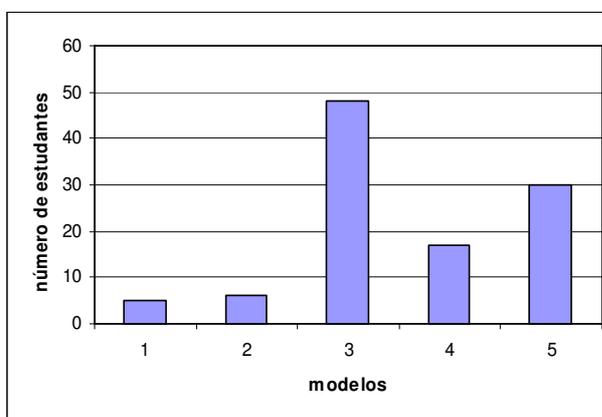
Ao encerrar o terceiro nível do currículo recursivo.

Na tabela 2 e no gráfico 2, apresentamos a frequência dos modelos mobilizados pelos estudantes nos cinco modelos.

Tabela 2: Frequência dos modelos dos estudantes sobre a natureza da luz ao final da terceira série

Natureza da luz		
Modelo	Frequência	Porcentagem (%)
1	5	4,7
2	6	5,7
3	48	45,3
4	17	16,0
5	30	28,3
Total	106	100,0

Gráfico 2: Frequência dos modelos dos estudantes sobre a natureza da luz ao final da terceira série



Pode-se notar que mesmo depois da experiência com esse conteúdo no terceiro nível do currículo recursivo, encontramos cerca de 45% dos estudantes apresentando concepções errôneas sobre os modelos científicos da luz, especialmente em relação ao modelo dual, no qual eles apresentam ideias híbridas presentes entre as duas teorias existentes para tratar o comportamento da luz. Apesar desse fato, temos uma mesma proporção de estudantes, cerca de 44% deles, que lançaram mão das teorias científicas da luz, ou seja, da teoria ondulatória eletromagnética ou da teoria corpuscular com a hipótese do fóton e também do modelo dual da luz. As ideias associadas essas teorias estão representados nos modelos 4 e 5 do nosso sistema categórico. Agora desses 44% estudantes que mobilizaram os modelos 4 e 5 em suas explicações, 28% utilizaram o modelo dual, levando em consideração o princípio da complementaridade proposto por Bohr em suas explicações. Portanto, colapsando os modelos 4 e 5 não encontramos nenhuma representatividade do modelo 3 em relação aos modelos 4 e 5, como na primeira ocasião de medida.

CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Em relação ao entendimento dos estudantes sobre os conceitos físicos, consideramos inicialmente que a retomada de um conteúdo em diferentes momentos, com boas situações de aprendizagem, poderia promover maior entendimento desses conceitos. Por isso, a nossa expectativa em relação ao entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz, era que ao final

do terceiro nível do currículo recursivo os estudantes mobilizassem os modelos 4 ou 5 em suas respostas, por apresentarem os modelos científicos da natureza da luz.

Os resultados dessa investigação corresponderam parcialmente as nossas expectativas, pois, apesar de grande parte dos estudantes estarem no nível de entendimento 4 ou 5⁷ ao final da terceira série, encontramos a mesma proporção de estudantes que se encontravam no nível 3. Entretanto, percebemos uma evolução dos estudantes em direção aos modelos mais sofisticados do nosso sistema categórico ($p= 0,002$; $p< 0,05$)⁸, um indício que as experiências vivenciadas pelos estudantes no terceiro nível do currículo recursivo foram significativas.

Assim como em outros estudos nos quais investigamos o entendimento dos estudantes no campo da eletricidade (Coelho e Borges, 2006, 2008), nessa investigação também encontramos os estudantes apresentando um alto conhecimento prévio em relação à natureza da luz. O alto conhecimento prévio pode ser evidenciado levando em consideração que os estudantes, em sua maioria, iniciam o curso de física utilizando o modelo 3 em suas respostas. Os estudantes que mobilizam esse modelo reconhecem a existência de teorias científicas para falar da luz, mesmo que elas sejam entendidas de forma parcial ou que apresentem inconsistências em suas explicações. Nesse momento inicial do curso, o conhecimento que os estudantes possuíam pode ser associado às suas experiências no campo da óptica e física moderna nas séries anteriores, ou seja, nos outros níveis do currículo recursivo.

Apesar da evolução dos estudantes para os modelos atuais sobre o comportamento da luz, especificamente a progressão dos estudantes em direção ao modelo dual, correspondendo ao atual modelo da radiação, ainda encontramos uma parcela dos estudantes construindo “modelos híbridos” em relação ao modelo dual da luz. A construção de “modelos híbridos” da luz pelos estudantes é uma consequência da não distinção entre as diferentes ideias presentes nas duas teorias (teoria eletromagnética e a teoria corpuscular com a hipótese do quantum de energia). Os livros textos de física, geralmente não deixam claro essa distinção ao apresentar o modelo dual da luz e tampouco apresentam, de forma acurada, a história associada ao desenvolvimento dos modelos da luz. Uma possível implicação para a sala de aula seria uma abordagem mais explícita dos dois modelos científicos existentes para falar da luz, em termos do princípio da complementaridade de Bohr. Outra possibilidade seria a inclusão no programa de física de discussões sobre a natureza dos modelos científicos. Consideramos que durante o curso, a natureza dos modelos científicos poderia ser introduzida consorciada com a temática abordada. No caso da temática abordada nesse estudo, os modelos científicos deveriam ser ensinados juntamente com o tópico de óptica e física moderna (natureza da luz).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRESTI A. *Categorical Data Analysis*. (2nd Ed). John Wiley & Sons, New York. 2002.

BRUNER, J. *O Processo da Educação*. Tradução de Lólio Lourenço de Oliveira Companhia editora Nacional. São Paulo, 1968. 97 p. Título original *The Process of Education*.

⁷ Nessa seção, associamos os modelos que os estudantes utilizaram em suas respostas com patamar de entendimento que eles obtiveram na temática investigada, por isso passamos a nos referir a esses modelos como níveis de entendimento. No nível três de entendimento, os estudantes apresentavam suas concepções sobre a natureza da luz de forma parcialmente correta ou com alguns elementos de erro e até mesmo apresentando ideias híbridas em relação ao comportamento dual da luz.

⁸ O resultado do teste de homogeneidade marginal nos mostra que existe diferença no padrão de resposta dos estudantes entre as duas ocasiões de medidas, visto que o valor da probabilidade encontrado no teste foi $p= 0,002$ e menor que o valor crítico de significância de 0,05.

COELHO, G. R. A evolução dos modelos explicativos dos estudantes sobre circuitos elétricos e sobre a natureza da luz em um currículo recursivo.2007a. Dissertação (Mestrado em Educação)-Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

COELHO, G. R.; BORGES, O. A evolução dos modelos sobre circuitos elétricos em um currículo recursivo. Apresentado no X Encontro Nacional de Pesquisas em Ensino de Física. Londrina, PR. Sociedade Brasileira de Física, 2006.

COELHO, G. R.; BORGES, O. A evolução dos modelos sobre a natureza da luz em um currículo recursivo. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, VI, Florianópolis, SC, 2007b. IN **Atas**.

COELHO, G. R.; BORGES, O. O entendimento dos estudantes do terceiro nível de um currículo recursivo sobre circuito elétrico simples. Apresentado no XI Encontro Nacional de Pesquisas em Ensino de Física. Curitiba, PR. Sociedade Brasileira de Física, 2008.

DRIVER, R.; GUESNE E.; TIBERGHIE, A. (1996). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Ediciones Morata, 3 ed, 1996. 311p.

DRIVER, R.; SQUIRES, A.; RUSHWORTH, P.; ROBINSON, V. *Making sense of secondary science*. London: Routledge, (1ed), 1994.

GROSSLIGHT, L; UNGER, C.; JAY, E.; SMITH, C. Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 28, n.9, p.799-822, 1991.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. *Física 4*. Rio de Janeiro, livros técnicos e científicos, 1996. v.4.

HUBBER, P. Year Students Mental Models of the Nature of Light. *Research in Science Education*. Vol 36, p.419-439, 2006.

PAULO, I. J. C.; MOREIRA, M. A. Um estudo sobre a captação de significados do conceito de dualidade onda-partícula por estudantes do ensino médio. *Enseñanza de las Ciencias*, Madrid, v. extra, 2005.

STATXACT, versão 6: Statistical software for Exact Nonparametric Inference. Cytel Studio, (s.d).

SMIT, F.F.A; FINEGOLD, M. Models In Physics: Perceptions Held By Final-Year Prospective Physical Science Teachers Studying At South African Universities. *International Journal Of Science Education*, v17(5), p 621-634, 1995.

VOSNIADOU, S. Exploring the Relationships between Conceptual Change and Intentional Learning. In G.M. Sinatra and P.R. Pintrich (Eds). *Intentional Conceptual Change*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002. Disponível em [www.cs.phs.uoa.gr / el / staff /vosniadou / IntentionalLearning.pdf](http://www.cs.phs.uoa.gr/el/staff/vosniadou/IntentionalLearning.pdf). Acesso em junho de 2007.