

# A EVOLUÇÃO DOS MODELOS SOBRE A NATUREZA DA LUZ EM UM CURRÍCULO RECURSIVO.

## THE EVOLUTION OF MODELS ON THE NATURE OF LIGHT IN RECURRENT CURRICULUM

Geide Rosa Coelho<sup>1</sup>

Oto Borges<sup>2</sup>

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

2 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 sobre o desenvolvimento do pensamento dos estudantes sobre a natureza da luz. Esse estudo foi realizado em um ambiente curricular em que os conteúdos são organizados de forma recursiva e em espiral. O instrumento de coleta de dados foi uma dissertação sobre a natureza da luz. Esse instrumento foi aplicado em duas ocasiões: (i) no início do ano, para termos acesso aos conhecimentos prévios dos estudantes; (ii) no final do ano. Nosso objetivo é analisar se houve progresso na utilização de modelos sobre a natureza da luz após a abordagem do tema, no terceiro nível do currículo recursivo. Consorciamos métodos qualitativos e quantitativos na análise de dados. Constatamos que as experiências que os estudantes vivenciaram nesse período com o tema produziram efeitos significativos para o progresso em seus modelos, mas esses efeitos não foram igualmente verificados em todas as turmas que fizeram parte desse estudo.

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

### Abstrat

We relate a study on the development of the students' thought on the nature of the light. That study was accomplished in an environment curricular in that the contents are organized of form recurrent and in spiral. The instrument of collection of data was a dissertation on the nature of the light. The instrument was applied in two occasions: (i) in the beginning of the year, to access the previous knowledge of students'; (ii) in the end of the year. Our objective is to analyze the progress of students' in the models on the nature of the light after the approach of the theme, in the third level of the recurrent curriculum. We associated qualitative and quantitative methods in the analysis of data. We verified that the experiences that the students experienced in that period with the theme produced significant effects for the progress in their models, but those effects were not verified equally in all of the classrooms' that were part of that study.

**Key words:** Science and Education, Teaching of Physics, recurrent curriculum, hierarchical models, nature of the light

## INTRODUÇÃO

Nesse trabalho relatamos um estudo sobre o desenvolvimento do pensamento dos estudantes na área da óptica e da física moderna, especificamente sobre a natureza da luz. Esse estudo foi realizado em um ambiente curricular em que os conteúdos são organizados de forma recursiva e em espiral. Para acessar o entendimento dos estudantes sobre essa temática, criamos um sistema categórico, baseado em modelos hierárquicos. Esses modelos foram identificados a partir da leitura dos dados brutos e foram construídos agrupando um conjunto de concepções utilizadas pelos estudantes em suas respostas.

Partimos do princípio que se o estudante utiliza modelos mais sofisticados para explicar o mesmo fenômeno em um momento posterior à experiência de aprendizagem pelo qual ele foi submetido, essa mudança pode ser explicada pelas experiências que ele vivenciou naquele período. Em relação ao entendimento dos estudantes sobre os conceitos físicos, consideramos que a retomada de um conteúdo em diferentes momentos, com boas situações de aprendizagem, poderia promover maior entendimento dos conceitos envolvidos nesse conteúdo. Nessa perspectiva, temos o propósito de investigar se o terceiro nível do currículo recursivo influenciou no desenvolvimento conceitual dos estudantes. Essa investigação perpassa a análise do desenvolvimento do pensamento dos estudantes das diferentes turmas que fizeram parte da nossa amostra.

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) e Hubber (2006).

Smit e Finegold (1995) administraram um questionário para 16 universidades da África do Sul para 196 estudantes do último ano do curso de formação de futuros professores de ciências e tinham como objetivo investigar o conhecimento desses futuros professores sobre a origem e a natureza dos modelos e sua função no desenvolvimento da disciplina. Em relação aos modelos sobre a natureza da luz, 44% dos respondentes tinham modelos mentais sobre a natureza da luz com características de ambos os modelos corpuscular e ondulatório da luz e somente um estudante mostrou entender a natureza dos dois modelos científicos sobre a natureza da luz, na qual, ele explicou a existência do uso do modelo de onda e de partícula em termos do princípio de complementaridade de Bohr. Os autores identificaram três modelos que conciliam simultaneamente características dos dois modelos: (a) A luz como pacote de onda (b) Luz como onda transversal propagando como partícula (fóton) e (c) Luz consiste de fótons com trajetórias mapeadas por onda transversal.

Hubber (2006) relata um estudo longitudinal de três anos em uma escola secundária rural no norte central de Victória na Austrália, na qual o tema óptica é formalmente ensinado nesses três anos. Os achados dessa pesquisa foram baseados em um estudo de caso com 6 estudantes sobre seus entendimentos sobre a natureza da luz para isso ele administrou três entrevistas semi-estruturadas e dois questionários intercalando os métodos em diversos momentos da seqüência de ensino. Os resultados desse trabalho apontam que no início do curso de óptica todos os estudantes mobilizavam o modelo de raios como constituinte da luz (modelo realístico<sup>1</sup>), e que ao final do curso de óptica alguns estudantes ainda mobilizavam esse modelo. Ao final da seqüência havia uma prevalência nos modelos mentais dos estudantes de idéias que consorciavam os dois modelos sobre a natureza da luz (corpuscular e ondulatório), que ele chamou de “modelos híbridos”, justamente pelo fato dos estudantes considerarem os dois modelos como sendo um único modelo. Dentre esses modelos híbridos, destacamos o modelo do fóton

---

<sup>1</sup> O modelo realístico está associado a idéia descrita por Grosslight et al (1991) sobre o nível de entendimento de modelos científicos, no caso esse modelo corresponde ao nível 1 de entendimento por apresentar o modelo como uma simples cópia da realidade.

entendido pela maioria dos estudantes como sendo uma entidade de natureza ondulatória e corpuscular.

## O CONTEXTO DA PESQUISA

Esse estudo foi realizado no contexto de um projeto de pesquisa em desenvolvimento de currículos, vertente que faz parte do interesse do grupo de pesquisa INOVAR. Os integrantes desse grupo são professores de uma instituição federal de ensino, que no ano de 2003 implementaram uma inovação no currículo de física. O currículo tradicional, baseado na distribuição de conteúdos específicos a cada uma das três séries do ensino médio, foi substituído por um *currículo espiral*.

A noção de organização do currículo em espiral foi proposta pelo psicólogo Jerome Bruner, em seu livro “O processo da educação” (1968)<sup>2</sup>. 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. Já no prefácio do livro, Bruner afirma o que “*inspirou esse encontro foi a convicção de que nos encontrávamos no início de um período de novo progresso e de novo interesse na criação de novos currículos e maneiras de ensinar ciência, e que era o momento de se proceder a uma avaliação geral desse progresso e desse interesse, para melhor orientar os desenvolvimentos futuros.*” (p.XIII).

Nas discussões sobre a teoria da aprendizagem, o autor propõe a idéia 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.

No ambiente no qual essa pesquisa foi realizada, os conteúdos temáticos de física são organizados em uma estrutura sequencial de três níveis, com recursividade temática. Os estudantes fazem um “passeio” pelas diversas temáticas da Física, com diferentes níveis de complexidade em cada uma das três séries do ensino médio. Nessa estrutura curricular 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 uma aprendizagem significativa.

Consideramos que em nossa sala de aula, encontramos diferentes sujeitos, com diferentes experiências culturais, expectativas e interesses em relação ao conhecimento escolar. Por isso, nos últimos anos, o grupo de pesquisa INOVAR (do qual sou integrante) tem feito um esforço de redirecionar o trabalho de desenvolvimento de currículos, deslocando-o do projeto de unidades e passando a focalizar o projeto e o desenvolvimento dos ambientes de aprendizagem, tornando mais atraente para todos, respeitando a diversidade de interesses e de ritmos de aprendizagem dos alunos (BORGES, JÚLIO E COELHO, 2005).

Para atender aos propósitos do projeto temos nos dedicado a manter um ambiente de aprendizagem com a abordagem centrada no aluno, utilizando o máximo de recursos disponíveis. Consideramos que a abordagem centrada no aluno desempenha um papel importante no processo de ensino e de aprendizagem, pois através dela temos tentado manter uma rotina de estudo persistente e tentamos convencer o estudante que o sucesso em Física depende de engajamento nos estudos.

Durante a aula de Física o tempo de exposição oral feita pelo professor é pequeno e praticamente todo tempo da aula é dedicado para leitura de textos, discussão com os colegas sobre o texto, resolução de esquemas e exercícios, realização de atividades práticas experimentais, uso de simulações, testes no final da aula.

Projetamos atividades que exigem e estimulam a leitura e a escrita; que favorecem melhorias na interpretação e compreensão de textos científicos e de exercícios e proporcionam

---

<sup>2</sup> O livro é uma tradução do original “The Process of Education”(1960) por Lólio Lourenço de Oliveira pela Companhia Editora Nacional em 1968.

oportunidades para identificar as dificuldades dos alunos. Todas as alterações no ambiente de ensino foram feitas sustentadas em resultados de algumas pesquisas. Dentre eles destacamos: o professor não pode instruir (Moreira e Borges, 2006) ele pode proporcionar aos estudantes experiências com boas oportunidades de aprendizagem; e que o engajamento do estudante é a chave para garantir a aprendizagem que faz a diferença (Borges, Júlio e Coelho, 2005)

Como parte do esforço de desenvolver o terceiro nível do currículo, buscamos não apenas redesenhar os ambientes de ensino, mas em coletar dados, em situações ecologicamente válidas, que nos permitam inferir sobre o progresso dos estudantes e sobre os efeitos dos ambientes de aprendizagem em que realizamos 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 ensino de física no nível médio. No presente trabalho, apresentamos uma análise de dados coletados para estudar a evolução do entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz.

## **DELINEAMENTO METODOLÓGICO**

### ***Sujeitos da pesquisa***

Participaram dessa pesquisa 134 alunos da 3ª série, correspondendo ao terceiro nível do currículo recursivo, da instituição federal de ensino (IFE) citada anteriormente. Ela oferta, desde 1998, ensino médio e ensino médio concomitante com o ensino técnico 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 (EMT), e por mera progressão do ensino fundamental para o ensino médio (EM). A última forma só é acessível aos alunos de uma escola de educação fundamental mantida pela mesma IFE. Os estudantes que cursam EMT 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 alunos de EMT 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 EMT 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 haviam 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 uma carga horária 4horas/semanais, sendo 1 aula em atividades práticas no laboratório. Em cada série os estudantes são avaliados por instrumentos comuns e alguns deles aplicados na mesma ocasião. A diferenciação por curso reflete na história da escola, 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. Neste trabalho, e no estágio atual da investigação, não estamos considerando o efeito dessas variáveis. No entanto, de certa forma elas estão subsumidas na diferenciação por cursos técnicos.

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 está organizada em 6 turmas de ensino médio: uma para o ensino médio (21 alunos), uma para os alunos do curso técnico de química (31 alunos), uma para os alunos do curso técnico de

patologia clínica (23 alunos), duas para os alunos do curso técnico de eletrônica (17 e 18 alunos) e uma para os alunos do curso técnico de instrumentação industrial (24 alunos) que para fins de análise foram agrupadas em uma única turma. Uma caracterização mais ampla das experiências escolares dos estudantes não pode ser dada por falta de espaço. Entretanto, mencionamos as variáveis que nos parecem relevantes para o nosso estudo.

Dos 134 alunos analisamos os dados de 106 estudantes devido ao fato de alguns estudantes não participarem dos dois momentos da coleta de dados.

### ***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 elicitar o entendimento dos estudantes através dos modelos que eles utilizaram 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 Galileo, Newton, Maxwell, Einstein e Bohr. Para verificar seu entendimento sobre o tema escreva um texto respondendo a questão: o que é a luz ?*

Como fizemos em um trabalho anterior (Coelho e Borges, 2006) para investigar a evolução do entendimento dos estudantes sobre a física envolvida no funcionamento de circuito elétrico simples, nesse trabalho, nós também testamos os estudantes em duas ocasiões distintas. 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 óptica e física moderna naquele ano, mas já tiveram contato com o conteúdo 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.

### ***Análise dos dados***

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 das turmas que fizeram parte desse estudo, esse procedimento nos permitiu evitar qualquer viés interpretativo durante a nossa análise, mesmo considerando que as respostas dos estudantes foram analisadas no ano posterior a coleta de dados; (ii) o compromisso de manter a privacidade e anonimato dos sujeitos participantes desse estudo.

A análise dos dados foi realizada conciliando métodos qualitativos e quantitativos. Em um primeiro momento apresentaremos a análise qualitativa que foi realizada para a construção do nosso sistema de categorização em termos dos modelos hierárquicos sobre natureza da luz. Em um segundo momento descrevemos o tratamento quantitativo que utilizamos com o intuito de coletar evidências da evolução dos modelos explicativos dos estudantes nas duas ocasiões nas quais o instrumento foi aplicado.

Durante a construção do nosso sistema categórico, procuramos não pensar nos modelos descritos como certos ou errados, mas apenas classificá-los em relação aos construtos presentes em sua estrutura. Borges e Batista (2000) apresentam uma revisão da literatura sobre a compreensão de estudantes e adultos sobre eletricidade e alguns trabalhos apresentados nessa revisão, sugerem que os modelos das pessoas se desenvolvem no curso de sua experiência com

fenômenos. Caso isso de fato ocorra, então poderemos tomar a evolução dos modelos dos estudantes como evidências do efeito do ensino no terceiro nível do currículo.

Usamos o teste de homogeneidade marginal<sup>3</sup>, uma generalização do teste McNemar para o caso multinomial, que é adequado para testar a homogeneidade marginal em categorias multinominais e ordenadas (Agresti, 2002, cap.10). O teste é aplicável em situações de medidas repetidas, que corresponde a metodologia utilizada nesse trabalho. Ele determina a razão com que a mudança nos sujeitos entre as duas ocasiões de teste interfere nas diferenças ocorridas nos totais marginais na tabela de dupla entrada, que no nosso trabalho corresponde ao número de alunos que se encontra em cada modelo, nos dois momentos distintos de medida.

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 a homogeneidade entre os totais marginais e qualquer diferença observada é explicada pelo acaso. Caso a probabilidade seja menor que o nível de significância do teste, as diferenças são atribuídas a 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 física moderna no terceiro nível do currículo recursivo.

### MODELOS SOBRE A NATUREZA DA LUZ

Admitimos uma hierarquia entre os modelos que compõe o nosso sistema categórico, por isso, esse sistema possui um caráter ordinal. Parte dessa hierarquia advém da evolução histórica dos modelos sobre a natureza da luz. 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 a 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.

Uma outra observação importante relacionada a construção desse sistema categórico se refere a não dissociação, nos modelos 2 e 4, dos modelos corpusculares e ondulatórios da luz, 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 sub-modelos 1.1 e 1.2, encontramos algumas concepções alternativas dos estudantes sobre a luz que são relatadas na literatura específica<sup>4</sup>. O sistema categórico é apresentado no quadro 1.

**Quadro1: Modelos e sub-modelos sobre natureza da luz e suas características**

	Características
<b>Modelo 1</b>	<b>Modelo primitivo</b>
Modelo 1.1	Os estudantes apresentam suas idéias 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 fontes luminosas, como por exemplo “luz ambiente” e “luz elétrica. Nessa categoria também foram incluídas as respostas nas quais os estudantes mencionam a importância da luz solar para a vida na Terra.
Modelo 1.2	Os estudantes ao explicitarem seu entendimento admitem que a luz é constituída de raios ou de ondas. Nessa perspectiva essas representações, que são utilizadas para falar da luz, são interpretadas como simples cópias da realidade. Alguns estudantes ao se referirem a onda associam a forma de propagação no meio como se fosse uma perturbação ondulatória

<sup>3</sup> Esse teste está disponível no programa Statxact 6 que apresenta um conjunto de pacotes estatísticos com amplas possibilidades para desenvolver diversos processos analíticos, principalmente inferências não-paramétricas exatas

<sup>4</sup> ver DRIVE ET AL (1996) no capítulo 2 escrito por Edith Guesne

	produzida em uma corda.
Modelo 1.3	Os estudantes reconhecem a luz como uma forma de energia e que pode ser transformada. Os estudantes fazem referência às propriedades da luz (propagação retilínea, velocidade de 300000 Km/s) ou alguns fenômenos (interferência, reflexão, difração, transmissão, dispersão da luz branca). Foram incluídas nessa categoria as respostas às quais os alunos focaram suas respostas no processo de emissão da luz.
<b>Modelo2</b>	<b>Luz como partícula ou luz como onda</b>
Modelo 2.1	Nessa categoria foram incluídas as respostas dos estudantes que reconhecem a luz como se fosse constituída de partículas. Mas esse modelo corpuscular não utiliza a hipótese dos fótons proposto por Max Planck, ele se aproxima mais do modelo idealizado primeiramente por Descartes e depois continuado por Newton no século XVII.
Modelo 2.2	Nessa categoria foram incluídas as respostas dos estudantes que definem a luz lançando mão do modelo ondulatório. Mas esse modelo ondulatório não é o idealizado pela teoria eletromagnética proposto por Maxwell, ele se aproxima mais do modelo que foi idealizado por Huygens no século XVII.
<b>Modelo 3</b>	<b>Variações dos modelos eletromagnético, corpuscular ou dual da luz.</b>
Modelo 3.1	Os estudantes lançam mão dos modelos científicos (modelo ondulatório eletromagnético ou corpuscular com a hipótese do fóton ou modelo dual) para falar sobre a luz, mas as suas respostas são parcialmente corretas por conter elementos de erro ou se apresentarem de maneira incompleta em relação as dimensões desses modelos.
Modelo 3.2	Ao expressar o seu entendimento sobre o comportamento dual da luz, os estudantes não conseguem reconhecer a distinção entre os modelos ondulatórios e corpusculares, sendo visto como um único modelo. Eles apresentam “modelos híbridos” <sup>5</sup> da luz por associar simultaneamente elementos dos dois modelos.
<b>Modelo 4</b>	<b>Luz como onda eletromagnética ou luz constituída por “pacotes de energia”</b>
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 no início do século XX e posteriormente utilizada por Einstein para explicar o efeito fotoelétrico.
<b>Modelo 5</b>	<b>Luz apresentando um comportamento dualístico</b>
	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 apresentaremos alguns exemplos típicos de respostas dadas pelos estudantes e que foram categorizadas de acordo com modelos sobre natureza da luz, descritos anteriormente. Por exemplo, o estudante A 179 dá a seguinte resposta para a questão : “*A luz é necessário para a sobrevivência dos seres vivos e utilizada para muitas pesquisas. Luz são partículas em raios que da claridade aos planetas e calor.*” Trata-se de uma resposta típica do modelo 1. O estudante não reconhece nenhum modelo para falar sobre a luz e simplesmente associa a luz a processos vitais e sua relação com a capacidade de iluminar o ambiente e tornar as coisas observáveis. Nessa resposta também encontramos elementos do modelo do “modelo realístico” descrito por Grosslight et al (1991) ao dizer que a luz são 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*”.

<sup>5</sup> Esse termo foi introduzido por Hubber (2006)

Para esse estudante a luz é melhor explicada pelo modelo ondulatório. Ainda nessa resposta o estudante associa a luz somente a luz branca e chama atenção para um importante fenômeno associada a ela que é a dispersão da luz. Já para o estudante A179 no segundo momento de medida “*A luz são constituídas de partículas que nos fornece energia, para que sejam visualizadas as coisas (...)*”. Apesar dele apresentar a importância da luz para o processo de visão ele introduz um elemento importante para falar sobre a luz que é seu caráter corpuscular.

As diferenças entre os modelos corpusculares e ondulatórios presentes na categoria 2 e na categoria 4 estão associadas ao aspecto histórico da evolução desses modelos. Enquanto na categoria 2 o modelo corpuscular se aproxima ao modelo proposto por Descartes (e depois continuado por Newton) no século XVII, na categoria 4 é introduzido a hipótese de um quantum de energia no modelo corpuscular que foi proposto no início do século XX. Em relação ao modelo ondulatório na categoria 2 o modelo ondulatório se aproxima do modelo proposto por Huygens também no séc XVII, enquanto que na categoria 4 o modelo ondulatório pertence a teoria eletromagnética desenvolvida por Maxwell ao final do séc XIX. Para ilustrar respostas que foram incluídas no modelo 4 vejamos o que o estudante A207 e A 134 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  $3 \times 10^8$  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 300000 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 explicou como é produzida uma onda eletromagnética e incluiu a luz como sendo um tipo dessa onda.

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 do 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 à 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 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 em um 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. O texto construído pelo estudantes 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)

Nessa resposta, 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) e de Hubber (2006), nesse estudo também encontramos “modelos híbridos” da luz que no nosso sistema categórico pertence ao modelo 3. Nesse modelo os estudantes associam simultaneamente elementos dos dois modelos científicos para 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; e o mais freqüente deles (iv) A luz é uma onda eletromagnética que mantém comportamento corpuscular ou é constituída por fótons. Vejamos a resposta do estudante A191 que ilustra um desses tipos de modelos que foram descritos anteriormente:

*“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)

## **MUDANÇA NOS MODELOS DOS ESTUDANTES**

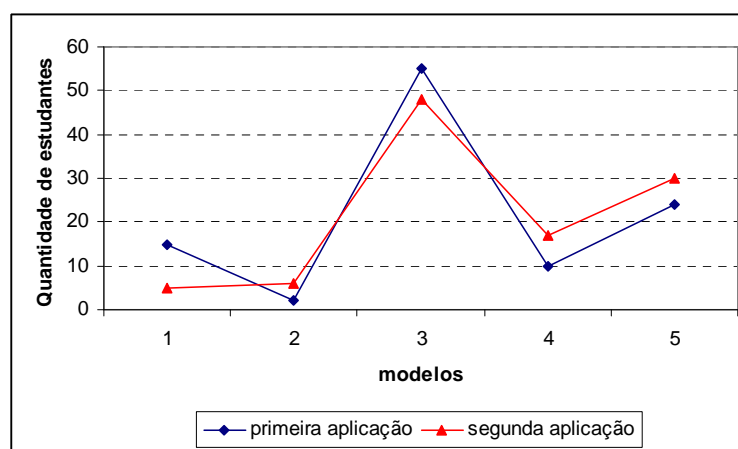
Como descrevemos anteriormente, os dados foram organizados em uma tabela de dupla entrada. Na tabela 1 apresentamos os resultados do cruzamento entre os modelos utilizados pelos estudantes nos dois momentos de medida, para toda a população testada. As células que apresentam os valores em negrito representam os totais marginais que determinam a concentração de estudantes em cada um dos modelos nas duas ocasiões de teste. As células sombreadas representam a quantidade de estudantes que continuaram a mobilizar os mesmos modelos nas duas ocasiões de medida. As células que se encontram acima da diagonal representam a quantidade de estudantes que mobilizaram modelos mais sofisticados na segunda ocasião de medida e as células abaixo da diagonal representam o número de alunos que utilizaram modelos menos sofisticados em suas explicações, na segunda ocasião de medida.

**Tabela 1: Modelos mobilizados pelos estudantes no primeiro momento de testagem versus modelos mobilizados no segundo momento de testagem**

Primeira aplicação	Segunda aplicação					Total
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	
Modelo 1	4	3	3	5	0	15
Modelo 2	0	1	1	0	0	2
Modelo 3	1	1	32	6	15	55
Modelo 4	0	1	5	4	0	10
Modelo 5	0	0	7	2	15	24
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>48</b>	<b>17</b>	<b>30</b>	<b>106</b>

A primeira vista temos um indício que as experiências com o conteúdo que os estudantes tiveram na terceira série foram significativas. Isso pode ser evidenciado a partir das diferenças nos totais marginais, nos quais ocorre uma movimentação dos estudantes que utilizavam modelos menos sofisticados na primeira aplicação para modelos mais sofisticados na segunda aplicação. O resultado do teste de homogeneidade marginal nos mostra que as diferenças nos totais marginais são significativas visto que, o valor da probabilidade encontrado foi  $p=0,0016$  e portanto menor que o valor crítico de significância de  $0,05$ . O progresso que ocorreu nos modelos utilizados pelos estudantes, pode ser melhor visualizado através do gráfico 1 que exibe um padrão da concentração dos estudantes em cada um dos modelos nos dois momentos de medida.

**Gráfico 1: Quantidade de estudantes concentrados em cada um dos modelos sobre natureza da luz nos dois momentos de testagem**



No primeiro momento de medida os estudantes tem maior representatividade no modelo 3, no qual as concepções que representam esse modelo possuem elementos dos modelos científicos com algumas inconsistências ou se apresentarem de maneira incompleta em relação as dimensões dos modelos científicos. Destacamos também que dos 14 % (15 estudantes) dos estudantes que mobilizaram o modelo primitivo no primeiro momento de medida, somente 4,7% (4 estudantes) continuaram a mobilizar esse modelo. Podemos interpretar essas informações, como um fator positivo em relação ao desenvolvimento epistemológico dos estudantes, pois, eles reconhecem mesmo com algumas inconsistências, que podemos falar sobre a luz através de modelos.

Apesar da evolução dos modelos 4 e 5 que correspondem as acepções científicas dos modelos sobre a natureza da luz, percebemos que 45% dos estudantes (48 estudantes) continuam a mobilizar o modelo 3. Desses estudantes a maior parte deles (32 estudantes) mobilizaram no primeiro momento de medida. Significando que mesmo depois da instrução eles continuam a

apresentar elementos de erro ou esses modelos continuaram a ser entendidos de forma incompleta. O modelo 5 está associado ao comportamento dualístico da luz, modelo atualmente aceito no campo da física que se apóia em pressupostos da física moderna. Para esse modelo a maioria dos estudantes (15 estudantes) que passaram a mobilizá-lo no segundo momento, migraram do modelo 3, sendo que os outros estudantes que o mobilizaram (15 estudantes), já tinham utilizado esse modelo no primeiro momento de medida.

### *Analisando as mudanças nos modelos dos estudantes nas diferentes turmas*

Os resultados nos mostram que houve progresso na mobilização de modelos pelos estudantes ao longo da série, um indício que as experiências com o conteúdo naquele período foram significativas. No entanto, devemos ser cautelosos ao inferir até que ponto essas experiências estão relacionadas ao curso de Física que foi oferecido na terceira série, pois as turmas apresentaram desempenhos muito diferentes em relação aos progressos nos modelos apresentados pelos estudantes e o desempenho no curso.

Para a turma EMT de eletrônica, o teste de homogeneidade marginal indica que o progresso que eles tiveram foi significativo ( $p=0,002$ ;  $p<0,05$ ). No estudo anterior (Coelho e Borges, 2006), também encontramos uma mudança significativa nos modelos dos estudantes dessa turma. A maior parte dos estudantes progrediram em seus modelos obtendo uma maior representatividade nos modelos 4 e 5. Vale destacar também que não tivemos nenhum estudante utilizando os modelos 1 e 2, que são os modelos menos sofisticados do nosso sistema categórico. Para se explicar esse progresso, devemos considerar algumas características associadas a essa turma. Trata-se de uma turma vocacionada para o estudo da física, que possuem uma grande familiaridade com o campo da Física e por isso alcançam altas performances em seu desempenho.

A turma de ensino médio (EM), apesar de ser a turma tradicionalmente a menos vocacionada para o estudo da física, também progrediu em seus modelos ( $p=0,0073$ ;  $p<0,05$ ). Dos 17 estudantes dessa turma 10 evoluíram em seus modelos explicativos. Não percebemos nenhuma representatividade dos estudantes em um modelo específico, mas é significativa a redução do número de estudantes que utilizaram o modelo primitivo em suas explicações no segundo momento de testagem, e também o aumento do número de estudantes que passou a mobilizar os modelos 4 e 5, nessa mesma ocasião de medida.

A turma EMT de patologia clínica, assim como a turma de Ensino Médio (EM) é tradicionalmente pouco vocacionada para o estudo da Física. Nessa turma os estudantes já iniciam o terceiro nível do currículo utilizando elementos dos modelos científicos mesmo com algumas inconsistências em suas explicações. Esse argumento pode ser justificado pelo fato de encontramos uma parcela representativa dos estudantes utilizando o modelo 3 na primeira ocasião de medida. Não identificamos nenhum padrão evolutivo significativo para essa turma, pois ao realizarmos o teste de homogeneidade marginal, encontramos um valor ( $p=0,1016$ ;  $p>0,05$ ) que nos permite dizer que as pequenas diferenças observadas nos modelos dos estudantes, nas duas ocasiões de medida, são melhores explicadas pelo acaso.

A turma EMT de instrumentação industrial é, segundo os professores, extremamente apática, pouco engajada academicamente e pouco motivada a entender idéias mais complexas e abstratas. Os estudantes que mobilizaram o modelo 1 para falar sobre o comportamento da luz no primeiro momento de medida continuaram a mobilizá-lo no segundo momento. O que merece destaque nessa turma, é o aumento do número de estudantes que mobilizaram o modelo 3 no segundo momento de medida, em contrapartida tivemos uma redução do número de estudantes que mobilizaram o modelo 4 e 5, nessa mesma ocasião. Apesar de observamos um efeito controverso nessa turma, não podemos dizer que os estudantes regrediram em seus modelos, uma vez que não encontramos uma significância estatística ( $p=0,0938$ ;  $p>0,05$ ) para as diferenças

encontradas nos sujeitos entre as duas ocasiões de medida e dessa forma as regressões nos modelos são explicadas por mero acaso.

Para a turma EMT de Química, percebemos que ao iniciar o curso de Física, a maioria dos estudantes mobilizavam os modelos científicos associados a natureza da luz, com uma maior representatividade no modelo 5, associado ao modelo atual da luz. Apesar disso, não desconsideramos a proporção de estudantes concentrados no modelo 3. O padrão de resposta dos estudantes sofreu poucas mudanças entre as duas ocasiões de medida e essas pequenas mudanças que ocorreram tem maior probabilidade de ter ocorrido por mero acaso, já que encontramos um valor de  $p = 0,1094$  um valor maior que 0,05. O ambiente de aprendizagem projetado teve pouco efeito nessa turma, o que é passível de ser explicado, já que a maior parte dos estudantes apresentam um nível ótimo relacionado ao entendimento sobre a natureza da luz, pois, mobilizavam o modelo 5 em suas explicações ao iniciar o curso de física no terceiro nível do currículo.

### CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Percebemos que em geral o ambiente projetado para o terceiro nível do currículo recursivo produz efeitos de aprendizagem significativos nos estudantes, mas esse efeito é diferente para as diversas turmas que possuem diferentes vocacionamentos para o estudo da física. Por isso, fomos cautelosos em inferir que a evolução no entendimento dos estudantes referentes aos conceitos inerentes a natureza da luz, poderiam ser explicadas pelo curso de física que foi ministrado para eles. Apesar disso, temos evidências que permitem sustentar o argumento em favor desse ambiente de aprendizagem.

A primeira evidência está associada ao desempenho da turma considerada tradicionalmente menos vocacionada (a turma de Ensino Médio) para o estudo da física, na qual encontramos progressos significativos nos modelos explicativos dos seus estudantes.

A segunda evidência, diz respeito ao desempenho da turma mais vocacionada para o estudo da física, a turma EMT de Eletrônica. O trabalho no qual investigamos o desenvolvimento do pensamento dos estudantes sobre a física envolvida no funcionamento de um circuito elétrico simples (Coelho e Borges, 2006), os estudantes dessa turma também obtiveram progressos significativos. Uma das possíveis explicações da evolução encontrada no domínio da eletricidade pode ser uma maior familiaridade com os conceitos associados a esse campo, pois esses estudantes lidam em seu curso técnico com circuitos elétricos em uma abordagem microscópica. Mas diferentemente nesse estudo, no qual abarcamos os conceitos associados ao campo da óptica e da física moderna (especificamente sobre natureza da luz), os estudantes dessa turma não lidam com esses conceitos em seu curso técnico e por isso, consideramos que o contato mais explícito com essa temática se deu no curso de física ministrado na terceira série.

Em relação ao currículo espiralado e recursivo, temos indícios que ele parece ser benéfico para o desenvolvimento conceitual dos estudantes, visto que eles apresentavam um alto conhecimento prévio<sup>6</sup> em relação aos conceitos investigados nessa pesquisa. O conhecimento prévio foi levantado na primeira ocasião de medida que foi realizada logo no início do curso de física na terceira série. Nesse momento, o conhecimento que os estudantes possuíam, poderiam ser explicados pelas 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 cientificamente apropriados para falar sobre o comportamento da luz, especificamente a evolução para o modelo dual da luz, que é

---

<sup>6</sup> O alto conhecimento prévio dos estudantes pode ser evidenciado devido ao fato de iniciarem o curso de física na terceira série, utilizando o modelo 3 em suas respostas. Nesse modelo, os estudantes reconhecem a existência de modelos científicos para falar da luz mesmo que eles sejam entendidos de forma parcial ou apresentem inconsistências em suas explicações.

o modelo mais acurado e 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 idéias presente nas duas teorias existentes para falar da luz (teoria eletromagnética e a teoria corpuscular). Os livros textos de física geralmente não deixam essa distinção muito clara ao apresentar o modelo dual da luz e tampouco apresenta, 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. Uma 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 introduzido consorciado 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).

Para esse artigo não coletamos evidências sobre como as diversas variáveis inerentes ao ambiente no qual se realizou essa pesquisa, poderiam explicar as mudanças nos modelos dos estudantes. Um novo estudo longitudinal está sendo desenvolvido para verificar, com maior acurácia, a influência dessas diversas variáveis do ambiente de aprendizagem no desenvolvimento conceitual dos estudantes.

#### 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.

BORGES, A. T.; BATISTA, L. M. Os modelos de crianças e adultos sobre eletricidade. In: VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2000, Florianópolis. Atas do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. São Paulo : SBF, 2000. p. 1-12.

BORGES, O; JÚLIO, J.M. E COELHO, G. R. Uma experiência de desenho da avaliação da aprendizagem para atender às diferenças individuais. Simpósio Nacional de Ensino de Física, XVI, 2005. IN. *Atas ...* Rio de Janeiro: SBF, janeiro de 2005.

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.

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

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.

MOREIRA, A.F.;BORGES,O. Por dentro de uma sala de aula de Física. Educação e Pesquisa, São Paulo, v.32, n.1,p 157-174,2006.

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

SMIT,F.F.A; FINEGOLD, M. Models In Physichs: 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.