

**GEIDE ROSA COELHO**

**A EVOLUÇÃO DOS MODELOS  
EXPLICATIVOS DOS  
ESTUDANTES SOBRE CIRCUITOS  
ELÉTRICOS E SOBRE A  
NATUREZA DA LUZ EM UM  
CURRÍCULO RECURSIVO**

**BELO HORIZONTE  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO  
2007**

**GEIDE ROSA COELHO**

**A EVOLUÇÃO DOS MODELOS  
EXPLICATIVOS DOS ESTUDANTES SOBRE  
CIRCUITOS ELÉTRICOS E SOBRE A  
NATUREZA DA LUZ EM UM CURRÍCULO  
RECURSIVO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Educação da Universidade federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação.

Linha de Pesquisa: Educação e Ciências

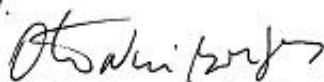
Orientador: Prof. Dr. Oto Borges

**BELO HORIZONTE  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO  
2007**

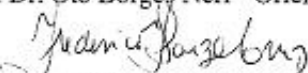
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO: Conhecimento e Inclusão Social**

**ATA DA 643ª. (SEXCENTÉSIMA QUADRAGÉSIMA TERCEIRA) DISSERTAÇÃO NO  
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO: Conhecimento  
e Inclusão Social**

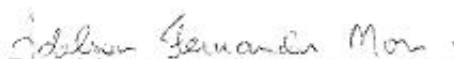
Aos vinte e oito dias do mês de agosto do ano dois mil e sete, realizou-se, na Faculdade de Educação da UFMG, uma reunião para apresentação e defesa da dissertação: “A EVOLUÇÃO DOS MODELOS EXPLICATIVOS DOS ESTUDANTES SOBRE CIRCUITOS ELÉTRICOS E SOBRE A NATUREZA DA LUZ EM UM CURRÍCULO RECURSIVO” do aluno **GEIDE ROSA COELHO** requisito final para obtenção do Grau de Mestre em Educação. A banca examinadora foi composta pelos seguintes professores doutores: Oto Neri Borges – Orientador, Frederico Firmo de Souza Cruz, Adelson Fernandes Moreira e Orlando Gomes de Aguiar Junior. Os trabalhos iniciaram-se às 10h com a síntese da dissertação feita pelo mestrando. Em seguida, os membros da banca fizeram uma arguição pública ao candidato. Terminadas as arguições, a banca examinadora se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para fazer a avaliação final da defesa da dissertação apresentada. Em conclusão a banca examinadora considerou a dissertação aprovada, destacando a articulação metodológica das abordagens qualitativa e quantitativa e o cuidado com a apresentação e interpretação dos dados. O resultado final foi comunicado ao aluno **GEIDE ROSA COELHO** e ao público, concedendo o aluno o título de Mestre em Educação, que deverá encaminhar à Secretaria do Programa a versão final em 04 (quatro) exemplares. Nada mais havendo a tratar, eu, Rosemary da Silva Madeira, lavrei a presente ata que, depois de lida e aprovada, será por mim assinada e por seus membros. Belo Horizonte, 28 de Agosto de 2007.



Prof. Dr. Oto Borges Neri - Orientador



Prof. Dr. Frederico Firmo de Souza Cruz – UFSC



Prof. Dr. Adelson Fernandes Moreira – CEFET/MG



Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Junior – FaE/UFMG



Rosemary da Silva Madeira

Secretária do Programa de Pós-graduação em Educação: Conhecimento e Inclusão Social –  
FaE/UFMG

## **Agradecimentos**

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, por todo amor e incentivo para que eu vencesse essa etapa.

Agradeço ao meu orientador Oto Borges, pela confiança no meu trabalho e por ter proporcionado momentos tão ricos de aprendizagem que contribuíram imensamente para o meu crescimento intelectual.

Agradeço aos meus amigos no grupo de orientação, não só pelas ricas discussões realizadas durante as reuniões, mas também pelos momentos de descontração em ocasiões não formais: Amanda, Beth, Carmen, Geraldo, Inês, Jordelina, Marciana, Marcos, Matheus, Morgana.

Agradeço a todos integrantes do grupo INOVAR, pelas ricas discussões geradas durante as reuniões. Agradeço a Josimeire, Bruno e Alexandre, amigos que conquistei durante minha trajetória acadêmica, pelas trocas de experiências.

Agradeço a Luciana, Robson e João Gabriel por serem tão companheiros durante o período de construção desse trabalho.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão desse trabalho.

## Sumário

<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>10</b>
<b>1-APRESENTAÇÃO DA PESQUISA .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1-ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2-INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.1-QUESTÃO DE PESQUISA .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2-TEMAS ABORDADOS.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.3-CONTEXTO DA PESQUISA.....</b>	<b>17</b>
<i>1.2.3.1-A ORGANIZAÇÃO DO CURRÍCULO EM ESPIRAL.....</i>	<i>17</i>
<i>1.2.3.2-A ORGANIZAÇÃO DO AMBIENTE DE APRENDIZAGEM NO TERCEIRO NÍVEL DO CURRÍCULO RECURSIVO.....</i>	<i>19</i>
<b>2- REFERENCIAIS TEÓRICOS .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1-CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS E A PERSPECTIVA DE DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.1-CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.2-PROCESSO DE MUDANÇA CONCEITUAL.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.3-PERSPECTIVA DE DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL.....</b>	<b>29</b>
<i>2.1.3.1-TEORIA ESTRUTURAL COGNITIVA- OS ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO COGNITIVO PROPOSTOS POR BIGGS E COLLIS .....</i>	<i>31</i>
<b>2.2-PENSAMENTO DOS ESTUDANTES SOBRE ELETRICIDADE .....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.1-FOCO DA INVESTIGAÇÃO NO CONCEITO DE CORRENTE E NO FLUXO DE CORRENTE ELÉTRICA EM CIRCUITOS ELÉTRICOS SIMPLES. ....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.2-FOCO DA INVESTIGAÇÃO NO CONCEITO DE DIFERENÇA DE POTENCIAL E NO SEU COMPORTAMENTO AO LONGO DO CIRCUITO.....</b>	<b>41</b>
<b>2.3-PENSAMENTO DOS ESTUDANTES SOBRE NATUREZA DA LUZ .....</b>	<b>42</b>

<b>2.4 INSTRUMENTOS PARA INVESTIGAR A APRENDIZAGEM EM CIÊNCIAS ..</b>	<b>44</b>
2.4.1-INSTRUMENTO QUALITATIVO COMO MÉTODO DE PESQUISA .....	44
2.4.2-ALGUNS PRESSUPOSTOS SOBRE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM.....	46
2.4.3-O NOSSO ARGUMENTO .....	47
<b>3-DELINEAMENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>49</b>
3.1-SUJEITOS DA PESQUISA .....	49
3.2-A COLETA DE DADOS E A LÓGICA DA INVESTIGAÇÃO.....	51
3.3-ANÁLISE QUALITATIVA .....	52
3.3.1-CRIAÇÃO DO SISTEMA CATEGÓRICO.....	52
3.3.2-MODELOS SOBRE CIRCUITOS ELÉTRICOS .....	54
3.3.3-MODELOS SOBRE NATUREZA DA LUZ .....	55
3.3.4-CATEGORIZAÇÃO DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES .....	57
3.3.4.1-FUNIONAMENTO DO CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES .....	57
3.3.4.2-NATUREZA DA LUZ.....	61
3.4-ANÁLISE QUANTITATIVA .....	65
3.4.1-TESTES ESTATÍSTICOS .....	66
3.4.1.1-TESTE DE HOMOGENEIDADE MARGINAL.....	68
<b>4-RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
4.1-MUDANÇA NOS MODELOS SOBRE <i>CIRCUITOS</i> ELÉTRICOS .....	70
4.1.1-ANALISANDO AS MUDANÇAS NOS MODELOS DOS ESTUDANTES NAS DIFERENTES TURMAS .....	73
4.2-MUDANÇA DOS MODELOS SOBRE A NATUREZA DA LUZ.....	80
4.2.1-ANALISANDO AS MUDANÇAS NOS MODELOS DOS ESTUDANTES NAS DIFERENTES TURMAS .....	82
4.3-PATAMAR DE ENTENDIMENTO DOS ESTUDANTES AO ENCERRAREM O TERCEIRO NÍVEL DO CURRÍCULO RECURSIVO .....	89
4.3.1- PREVENDO A PERFORMANCE DOS ESTUDANTES.....	89

<b>4.3.2-FUNIONAMENTO DE CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES .....</b>	<b>93</b>
<b>4.3.3-NATUREZA DA LUZ .....</b>	<b>95</b>
<b>5- CONCLUSÕES.....</b>	<b>98</b>
<b>5.1-O AMBIENTE DE APRENDIZAGEM CONSEGUE PROMOVER O DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DOS ESTUDANTES.....</b>	<b>98</b>
<b>5.2-PATAMAR DE ENTENDIMENTO DOS ESTUDANTES AO ENCERRAR O TERCEIRO NÍVEL DO CURRÍCULO RECURSIVO .....</b>	<b>101</b>
<b>6-IMPLICAÇÕES .....</b>	<b>104</b>
<b>6.1-IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA ACADÊMICA.....</b>	<b>104</b>
<b>6.2-IMPLICAÇÕES PARA SALA DE AULA .....</b>	<b>105</b>
<b>7-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>108</b>

## Lista de Gráficos

Gráfico 1:Concentração De Estudantes Em Cada Modelo De Circuito Elétrico Nos Dois Momentos De Aplicação Para Toda A População Testada.....	72
Gráfico 2:Concentração De Estudantes Em Cada Um Dos Modelos De Circuito Elétrico Nos Dois Momentos De Aplicação Para A Turma Emt De Eletrônica . .....	74
Gráfico 3:Concentração De Estudantes Em Cada Um Dos Modelos De Circuito Elétrico Nos Dois Momentos De Aplicação Para A Turma Emt De Patologia Clínica . .....	75
Gráfico 4:Concentração De Estudantes Em Cada Um Dos Modelos De Circuito Elétrico Nos Dois Momentos De Aplicação Para A Turma De Ensino Médio (Em) . .....	76
Gráfico 5:Concentração De Estudantes Em Cada Um Dos Modelos De Circuito Elétrico Nos Dois Momentos De Aplicação Para A Turma De Emt De Instrumentação Industrial .....	78
Gráfico 6:Concentração De Estudantes Em Cada Um Dos Modelos De Circuito Elétrico Nos Dois Momentos De Aplicação Para A Turma De Emt De Química .....	79
Gráfico 7: Quantidade De Estudantes Concentrados Em Cada Um Dos Modelos Sobre Natureza Da Luz Nos Dois Momentos De Medida .....	81
Gráfico 8: Quantidade De Estudantes Concentrados Em Cada Um Dos Modelos Sobre A Natureza Da Luz Nos Dois Momentos De Medida Para A Turma Emt De Eletrônica .....	83
Gráfico 9: Quantidade De Estudantes Concentrados Em Cada Um Dos Modelos Sobre A Natureza Da Luz Nos Dois Momentos De Medida Para A Turma De Ensino Médio (Em).....	84
Gráfico 10: Quantidade De Estudantes Concentrados Em Cada Um Dos Modelos Sobre A Natureza Da Luz Nos Dois Momentos De Medida Para A Turma Emt De Patologia Clínica.....	85
Gráfico 11: Quantidade De Estudantes Concentrados Em Cada Um Dos Modelos Sobre A Natureza Da Luz Nos Dois Momentos De Medida Para A Turma Emt De Instrumentação Industrial .....	86
Gráfico 12: Quantidade De Estudantes Concentrados Em Cada Um Dos Modelos Sobre A Natureza Da Luz Nos Dois Momentos De Medida Para A Turma Emt De Química .....	88
Gráfico 13: Frequência Dos Modelos Explicativos Dos Estudantes Sobre Circuito Elétrico Simples Ao Final Da Terceira Série .....	94
Gráfico14: Frequência Dos Modelos Explicativos Dos Estudantes Sobre A Natureza Da Luz Ao Final Da Terceira Série .....	95
Gráfico15: Frequência Dos Modelos Sobre A Natureza Da Luz Ao Final Da Terceira Série Com As Categorias 4 E 5 Colapsadas .....	96



## Lista de Tabelas

Tabela 1-Modelos Utilizados Pelos Estudantes Na Primeira Aplicação Versus Modelos Utilizados Na Segunda Aplicação .....	71
Tabela 2-Modelos Utilizados Pelos Estudantes Na Primeira Aplicação Versus Modelos Utilizados Na Segunda Aplicação Para As Turmas Emt De Eletrônica.....	73
Tabela 3-Modelos Utilizados Pelos Estudantes Na Primeira Aplicação Versus Modelos Utilizados Na Segunda Aplicação Para As Turmas Emt De Patologia Clínica .....	75
Tabela 4-Modelos Utilizados Pelos Estudantes Na Primeira Aplicação Versus Modelos Utilizados Na Segunda Aplicação Para As Turmas De Ensino Médio (Em) .....	77
Tabela 5-Modelos Utilizados Pelos Estudantes Na Primeira Aplicação Versus Modelos Utilizados Na Segunda Aplicação Para As Turmas De Emt De Instrumentação Industrial.....	78
Tabela 6-Modelos Utilizados Pelos Estudantes Na Primeira Aplicação Versus Modelos Utilizados Na Segunda Aplicação Para As Turmas De Emt De Química. ....	79
Tabela 7:Modelos Mobilizados Pelos Estudantes No Primeiro Momento Versus Modelos Mobilizados No Segundo Momento De Testagem .....	80
Tabela 8: Modelos Utilizados Pelos Estudantes Na Primeira Aplicação Versus Modelos Utilizados Na Segunda Aplicação Para As Turmas Emt De Eletrônica.....	83
Tabela 9: Modelos Utilizados Pelos Estudantes Na Primeira Aplicação Versus Modelos Utilizados Na Segunda Aplicação Para A Turma De Ensino Médio (Em) .....	84
Tabela 10-Modelos Utilizados Pelos Estudantes Na Primeira Aplicação Versus Modelos Utilizados Na Segunda Aplicação Para As Turmas Emt De Patologia Clínica.....	86
Tabela 11-Modelos Utilizados Pelos Estudantes Na Primeira Aplicação Versus Modelos Utilizados Na Segunda Aplicação Para As Turmas Emt De Instrumentação Industrial.....	87
Tabela 12-Modelos Utilizados Pelos Estudantes Na Primeira Aplicação Versus Modelos Utilizados Na Segunda Aplicação Para As Turmas De Emt De Química. ....	88
Tabela 13 Frequência Dos Modelos Explicativos Dos Estudantes Sobre Circuito Elétrico Simples Ao Final Da Terceira Série.....	93
Tabela 14 Frequência Dos Sub-Modelos Do Modelo 3 Sobre Circuito Elétrico Simples Ao Final Da Terceira Série.....	94
Tabela 15 Frequência Dos Modelos Explicativos Dos Estudantes Sobre A Natureza Da Luz Ao Final Da Terceira Série.....	95

## Resumo

Esta dissertação se refere a uma pesquisa sobre o desenvolvimento do pensamento dos estudantes na área de eletricidade (circuitos elétricos simples) e da óptica e física moderna (natureza da luz) em um ambiente de aprendizagem pautado por um currículo organizado em uma espiral de três níveis e na recursividade temática para a disciplina física. O entendimento dos estudantes foi acessado através do uso de dois instrumentos qualitativos que nós desenvolvemos.

Nessa pesquisa nos detemos sobre três propósitos: (i) investigar se o terceiro nível do currículo recursivo influenciou no desenvolvimento conceitual dos estudantes; (ii) verificar o patamar de entendimento dos estudantes ao encerrar o terceiro nível do currículo recursivo e (iii) argumentar sobre a possível utilização dos instrumentos que desenvolvemos para acessar o entendimento dos estudantes, como um instrumento de avaliação do professor.

Para atender aos dois primeiros propósitos, os nossos instrumentos de pesquisa foram apresentados aos estudantes da terceira série do ensino médio, em dois momentos distintos. Os dados coletados foram analisados qualitativamente através de sistemas hierárquicos de modelos, previamente categorizados e validados. Para avaliar a progressão no entendimento dos estudantes, medido comparando as diferenças entre os modelos mobilizados pelos estudantes nos dois momentos de medidas, os dados também foram analisados e modelados quantitativamente.

Constatamos que as experiências que os estudantes vivenciaram no terceiro nível do currículo recursivo com os temas investigados nessa pesquisa, produziram efeitos significativos para o progresso em seus modelos. Porém, esses efeitos não foram igualmente verificados em cada uma das turmas que fizeram parte dessa pesquisa, por isso fomos cautelosos ao falar sobre a influência do ambiente de aprendizagem no desenvolvimento conceitual dos estudantes.

Em relação ao patamar de entendimento dos estudantes ao encerrar a terceira série do ensino médio, verificamos que em relação ao funcionamento de circuito elétrico simples os estudantes têm maior representatividade no modelo que reconhece a diferença de potencial estabelecida por uma fonte como agente responsável pela corrente elétrica estabelecida no circuito. No caso da natureza da luz os estudantes apresentam, na mesma proporção, uma representatividade nos modelos que descrevem as acepções científicas das teorias da luz e no modelo que designa possíveis variações dessas teorias científicas.

# **1-Apresentação da Pesquisa**

## **1.1-Estrutura da Dissertação**

A estrutura desse relatório de pesquisa foi desenvolvida na tentativa de possibilitar uma maior clareza em relação aos nossos propósitos de pesquisa, os referenciais teóricos que adotamos, os métodos de coleta e análise de dados, os principais resultados gerados na pesquisa, as nossas conclusões e implicações. Para a construção desse relatório de pesquisa, levamos em consideração os critérios estabelecidos pela *American Educational Research Association* (AERA), para a comunicação de estudos empíricos nas Ciências Sociais. Dessa forma, essa dissertação foi estruturada em seis capítulos e uma descrição sucinta desses capítulos será apresentada nos próximos parágrafos.

No primeiro capítulo apresentamos a introdução. Nesse capítulo apresentamos a formulação do problema, com a principal questão e os propósitos que motivaram a realização desse estudo. Também apresentamos os domínios da física que foram investigados e o contexto no qual foi realizada essa pesquisa.

No segundo capítulo apresentamos os referenciais teóricos. Nesse capítulo explicitamos a revisão da literatura na qual a nossa pesquisa foi fundamentada para o desenvolvimento dos nossos argumentos e a interpretação dos resultados. Esse capítulo foi estruturado em quatro seções. Na primeira seção apresentamos uma revisão sobre as pesquisas relacionadas às concepções alternativas e mudança conceitual; na segunda seção apresentamos as principais pesquisas sobre o pensamento dos estudantes em eletricidade; na terceira apresentamos as pesquisas sobre o pensamento dos estudantes a respeito da natureza da luz e na quarta fazemos uma revisão sobre instrumentos para investigar a aprendizagem em ciências.

No terceiro capítulo apresentamos o delineamento metodológico com as informações relacionadas aos métodos de coleta e análise de dados e sobre os participantes que fizeram parte desse estudo. Ao apresentarmos os métodos de coletas de dados, descrevemos os instrumentos que desenvolvemos para investigar o pensamento dos estudantes sobre a natureza da luz e sobre o funcionamento de um circuito elétrico simples e explicamos a lógica pela qual conduzimos nossas investigações. A nossa seção de análise de foi dividida em duas partes: Análise qualitativa e quantitativa. Na primeira, apresentamos os procedimentos adotados para a construção do nosso sistema categórico baseado na hierarquia de modelos, com alguns exemplos típicos de cada uma das categorias explicitadas. Na análise quantitativa apresentamos um modelamento estatístico utilizado para verificar o progresso nos modelos explicativos dos estudantes.

No quarto capítulo apresentamos os resultados da pesquisa. Nesse capítulo apresentamos os principais achados, levando em consideração a nossa principal questão, associada aos nossos propósitos ao realizar essa pesquisa. Esse capítulo foi estruturado em três seções. Na primeira seção, apresentamos os resultados do progresso dos estudantes nos modelos sobre circuitos elétricos. Na segunda seção, apresentamos os resultados dos progressos dos estudantes nos modelos sobre a natureza da luz. Na última seção, apresentamos os resultados associados ao patamar de entendimento dos estudantes, ao encerrar a terceira série do ensino médio, nos domínios abordados nessa pesquisa.

No quinto capítulo apresentamos as principais conclusões dessa pesquisa. Esse capítulo foi estruturado em duas seções. Na primeira seção, apresentamos as principais conclusões relacionadas à influência do ambiente de aprendizagem no desenvolvimento conceitual dos estudantes e na segunda seção apresentamos as nossas conclusões em relação ao patamar de entendimento dos estudantes ao encerrar o terceiro nível do currículo recursivo.

No sexto e último capítulo apresentamos as principais implicações dessa pesquisa no âmbito acadêmico e no âmbito escolar e para isso o capítulo foi estruturado em duas seções.

## **1.2-Introdução**

Esta dissertação se refere a uma pesquisa sobre o desenvolvimento do pensamento dos estudantes na área de eletricidade (circuitos elétricos simples) e da óptica e física moderna (natureza da luz) em um ambiente de aprendizagem pautado na recursividade temática para disciplina Física.

O entendimento dos estudantes foi acessado através do uso de dois instrumentos qualitativos que nós desenvolvemos. Esses instrumentos consistiam em uma tarefa envolvendo o desenvolvimento de duas dissertações: (i) Na primeira situação tínhamos um problema com uma situação física envolvendo os conceitos referentes ao funcionamento de circuitos elétricos, (ii) A segunda situação consistia em uma questão direta de explicitação, do entendimento sobre a natureza da luz.

O nosso instrumento de pesquisa foi apresentado aos estudantes, em dois momentos distintos, com um intervalo de 9 meses. Os dados coletados foram analisados qualitativamente através de sistemas hierárquicos de modelos explicativos previamente categorizados e validados. Para avaliar a evolução no entendimento dos estudantes, medido comparando as diferenças entre os modelos mobilizados pelos estudantes nos dois momentos de medidas, os dados também foram analisados e modelados quantitativamente.

Apesar de considerarmos que o raciocínio humano se processa através da construção de modelos de eventos e estado de coisas do mundo e nos referirmos aos modelos expressos (modelos explicativos) dos estudantes ao expressar seu raciocínio durante a realização de uma tarefa, não utilizamos uma teoria cognitiva para explicar os processos mentais que nos permitiria compreender a origem desses raciocínios. Para os nossos propósitos de pesquisa nos interessava somente ter acesso ao entendimento dos estudantes em ocasiões bem

determinadas, não foi importante para nós nos atermos aos processos internos à mente do sujeito. Também temos que considerar que os nossos dados são estritamente comportamentais o que limita qualquer inferência associada aos processos mentais do sujeito.

A tarefa de identificar a apreensão por parte dos estudantes dos modelos mais importantes e do conhecimento conceitual mais relevante, aproxima o professor do ofício do pesquisador. Por isso, a nossa tentativa de identificar e acompanhar o desenvolvimento do pensamento dos estudantes utilizando hierarquias de modelos explicativos para análise das suas respostas, pode ser um exemplo de ação a ser utilizada pelo professor para avaliar qualitativamente a aprendizagem do seu aluno. Consideramos que nessa pesquisa, além de acumular evidências sobre a influência de um ambiente de aprendizagem específico, podemos sugerir o uso desses instrumentos qualitativos, juntamente com seu sistema de categorização, pelo professor, como uma estratégia de avaliação.

### **1.2.1-Questão de Pesquisa**

A essência de estudos longitudinais está na tentativa de fornecer evidências sobre mudanças nas pessoas ou entidades. Nessa pesquisa o nosso interesse estava em acompanhar as mudanças no entendimento dos estudantes para investigar os possíveis efeitos de um ambiente de aprendizagem. Para atendermos a esse propósito, desenvolvemos dois instrumentos qualitativos de questões abertas que abarcavam o entendimento dos estudantes sobre a física envolvida no funcionamento de circuitos elétricos e sobre a natureza da luz.

BORGES E BATISTA (2000) fazem uma revisão da literatura, na qual os modelos de corrente elétrica são amplamente citados e discute tanto as implicações desse conhecimento para o ensino de eletricidade quanto para a pesquisa em educação em ciências. Algumas dessas pesquisas têm mostrado que a compreensão dos estudantes melhora com a idade e a instrução, e que eles tendem a abandonar modelos mais simples em favor de outros mais sofisticados (OSBORNE, 1983;SHIPSTONE, 1984).Nessa perspectiva, a habilidade em

explicar um fenômeno, evolui a medida que o indivíduo adquire modelos mais sofisticados sobre os construtos envolvidos nesse fenômeno. Essa evolução ocorre devido ao maior conhecimento por parte do indivíduo dos conceitos envolvidos do fenômeno proposto e da instrução a qual é submetido.

Partimos do princípio de 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 (COELHO E BORGES, 2006). Portanto, a retomada de um conteúdo em diferentes momentos com boas situações de aprendizagem, pode promover maior entendimento dos conceitos envolvidos nesse conteúdo.

Em seu estudo sobre o entendimento dos estudantes do ensino médio sobre sistema de referencia e sobre o movimento relativo, AMANTES (2005) sugere que as abordagens curriculares recursivas são essenciais para que o estudante construa progressivamente sua concepção, indo em direção a um pensamento mais formal. Partindo desse princípio, pretendo com o desenvolvimento desse trabalho, responder a uma questão principal:

- O modelo explicativo dos estudantes evolui, quando eles se deparam com um mesmo fenômeno em diferentes momentos?

Os modelos explicativos dos estudantes fornecem evidências sobre o seu entendimento dos conceitos envolvidos nos fenômenos físicos e por isso em torno dessa questão principal pretendemos:

- ✓ Investigar a evolução dos modelos explicativos, especificamente sobre circuitos elétricos e sobre a natureza da luz no terceiro nível do currículo em espiral para verificar se esse ambiente, pautado na recursividade temática, promove o desenvolvimento conceitual dos estudantes.

- ✓ Identificar o patamar de entendimento dos estudantes sobre os conceitos referentes à física envolvida no funcionamento de circuitos elétricos simples e sobre a natureza da luz, ao encerrar o terceiro nível do currículo recursivo.
- ✓ Apresentar os instrumentos de questões abertas que foram desenvolvidos para essa pesquisa, como uma ferramenta que o professor possa utilizar para avaliar qualitativamente seus estudantes.

### **1.2.2-Temas abordados**

Os temas abordados nessa pesquisa “circuitos elétricos” e “natureza da luz” surgiram de uma sondagem, que fizemos no ano de 2005, a respeito do entendimento dos estudantes da terceira série do ensino médio, sobre os conceitos associados a esses domínios de conhecimento. Inicialmente essa sondagem foi utilizada como uma forma de avaliar o desempenho dos estudantes em Física, consistindo em uma tarefa escolar usual. Posteriormente essas atividades se tornaram fonte de dados para a pesquisa relatada nessa dissertação.

Apesar do nosso interesse em desenvolver instrumentos qualitativos nas diversas áreas da física, esses assuntos se mostraram adequados para essa investigação, pois eles são temas que são retomados nas três séries do ensino médio na instituição federal de ensino (IFE) onde realizamos a pesquisa.

Os aspectos inerentes à natureza da luz, preocuparam filósofos e físicos, como Galileu, Newton, Maxwell, Einstein e Bohr. Dos trabalhos publicados por Einstein em 1905, dois eram relacionados à natureza da luz. Um desses trabalhos foi responsável pelo prêmio Nobel de 1921: a teoria do quantum e o efeito fotoelétrico, na qual ele lançou mão de uma idéia revolucionária de que a luz era formada por partículas (mais tarde essas partículas foram determinadas fótons). Os modelos referentes à natureza da luz constituem uma importante



oportunidade para os estudantes entenderem os modelos científicos como uma construção social e inacabada.

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 são incipientes os estudos que investigam o entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz. Esse fato aumentou o nosso interesse em realizar a investigação referente a essa temática. Dentre os trabalhos encontrados na literatura, destacamos os trabalhos de SMIT E FINEGOLD (1995), HUBBER (2006) e RAFTOPOULOS ET AL (2007). Uma descrição desses trabalhos será apresentada posteriormente nessa dissertação na seção dos referenciais teóricos.

O conteúdo da eletricidade, ao contrário do que acontece com a natureza da luz, é trabalhado durante um longo período de tempo pelo professor e são reconhecidas as dificuldades dos estudantes em entender os conceitos abstratos relacionados a esse conteúdo. O pensamento dos estudantes a respeito de eletricidade é amplamente estudado pelos pesquisadores, por mais de três décadas (CLOSSET, 1983; GENTNER E GENTNER, 1983; OSBORNE, 1983; SHIPSTONE, 1984,1988; DUIT, JUNO E RHONECK,1985; MILLAR E KING,1993; MILLAR E LIM BEH, 1993; BORGES, 1996; 1999; CEPNI E KELES,2006). Uma descrição desses trabalhos também será apresentada posteriormente na seção dos referenciais teóricos, mas uma análise inicial permite dizer que, a maioria desses estudos pautou suas investigações na descrição das concepções dos estudantes sobre o tema.

### **1.2.3-Contexto da pesquisa**

#### *1.2.3.1-A organização do currículo em espiral*

Essa pesquisa foi realizada no contexto de um projeto em desenvolvimento de currículos, vertente que faz parte do interesse do grupo de pesquisa INOVAR. Esse grupo de

pesquisa possui uma característica peculiar, pois grande parte dos seus integrantes além de pesquisadores do programa de pós-graduação da Faculdade de Educação (FAE) da Universidade federal de Minas Gerais, atuam como professores no nível médio de ensino.

Alguns desses integrantes lecionam em uma IFE, que no ano de 2003 desenvolveram um projeto de reformulação curricular no curso 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*, no qual os estudantes fazem um “passeio” pelos mesmos temas (não os mesmos conteúdos) com diferentes níveis de complexidade nas três séries do ensino médio. Nessa perspectiva, esse currículo foi estruturado como uma espiral de três níveis.

A noção de organização do currículo em espiral foi proposta pelo psicólogo Jerome Bruner. Em seu livro “O processo da educação” (1968)<sup>1</sup>, que foi elaborado a partir das discussões ocorridas na famosa conferência de Woods Hole , o autor aborda 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. Sobre o ensino de ciências ele afirma:

*“Se considera crucial a compreensão de número, medida ou probabilidade na busca da ciência, então a instrução nesses assuntos deverá ser iniciada tão cedo e de*

---

<sup>1</sup> O livro é uma tradução do original “The Process of Education” (1960) por Lólio Lourenço de Oliveira pela Companhia Editora Nacional em 1968.

*maneira intelectualmente mais honesta possível e consistentemente com as formas de pensar da criança, deixando que os tópicos sejam desenvolvidos varias vezes em graus posteriores (...).” (p.49)*

O trecho acima capta parte da essência presente na estrutura do currículo recursivo e espiralado. No contexto de reformulação curricular no qual essa pesquisa foi realizada, os conteúdos temáticos de física foram organizados em uma estrutura seqüencial 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.

Nesse projeto de reformulação VAZ ET AL (2003) apontam vantagens dessa estrutura curricular como: (i) a possibilidade do estudante ter uma visão geral de toda Física logo no primeiro ano; (ii) o aumento do interesse e a motivação dos estudantes já que vários assuntos serão trabalhados. Isso possibilita uma chance maior de ajustar o interesse dos alunos com o conteúdo que está sendo ensinado (iii) aumentam as chances dos estudantes alcançarem uma aceção científica dos conceitos uma vez que eles retomam esses conceitos em diferentes momentos de sua formação.

#### *1.2.3.2-A organização do ambiente de aprendizagem no terceiro nível do currículo recursivo*

Como parte do esforço de desenvolver o terceiro nível do currículo, buscou-se 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. Nessa dissertação, acumulamos esse tipo de evidência ao analisar o progresso no entendimento dos

estudantes sobre circuitos elétricos e a física envolvida em seu funcionamento e também ao avaliar o progresso dos estudantes em seus entendimentos sobre a natureza da luz.

Temos que considerar 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 orientador dessa pesquisa o prof. Oto Borges, juntamente com outros colaboradores, 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.

O projeto de um ambiente de aprendizagem real, não pode ser uma tarefa abstrata e descolada do ambiente escolar real. Como todo projeto, o de um ambiente de aprendizagem também deve responder a certas demandas da prática, objetivos pretendidos, limitações de recursos humanos, materiais, financeiros e principalmente, limitações de tempo. O ambiente que o prof. Oto Borges e seus colaboradores estão desenvolvendo busca, dentre outros, atender aos seguintes propósitos: (i) favorecer o desenvolvimento das habilidades de leitura e escrita entre os estudantes; (ii) favorecer o desenvolvimento do hábito de estudo sistemático e regular; e (iii) reorganizar o currículo para torná-lo mais atraente para todos, respeitando a diversidade de interesses e de ritmos de aprendizagem dos estudantes (BORGES, COELHO E JÚLIO, 2005).

Esse ambiente vem sendo desenvolvido, na IFE no qual o idealizador desse projeto leciona. Como atuei nessa instituição como professor substituto durante dois anos, conheço bem o projeto e acompanhei a implementação e o desenvolvimento das modificações introduzidas no ambiente de aprendizagem que visavam atender aos propósitos descritos anteriormente. Uma das principais modificações introduzidas no ambiente, foi a abordagem de ensino centrada no estudante, no qual são utilizados o máximo de recursos disponíveis. Consideramos que a abordagem centrada no aluno, desempenha um papel importante no

processo ensino/aprendizagem, pois através dela, tentamos manter uma rotina de estudo persistente e tentamos convencer o estudante que o sucesso em Física depende de engajamento nos estudos.

Durante as aulas de Física, o tempo de exposição oral feita por nós era 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 favoreçam melhoras na interpretação e compreensão de textos científicos e de exercícios e proporcionam oportunidades para identificar as dificuldades dos alunos.

Todas as alterações no ambiente de ensino foram feitas sustentadas em resultados de algumas pesquisas. Um desses resultados sugere que o ensino feito pelo professor não garante a aprendizagem dos alunos, mas que o professor pode proporcionar aos estudantes experiências com boas oportunidades de aprendizagem (MOREIRA E BORGES, 2006). O outro resultado está associado ao engajamento do estudante que contribui de forma significativa para sua aprendizagem, segundo CAMPBELL ET AL. (1994) *“o fator singular mais importante a influenciar a aprendizagem é o engajamento ativo do aprendiz com o material. Obtenha isto - e ensine por quaisquer métodos que retenham este engajamento.”*

## **2- Referenciais Teóricos**

### **2.1-Concepções alternativas e a perspectiva de desenvolvimento conceitual**

#### **2.1.1-Concepções alternativas**

Em uma sala de aula, encontramos diferentes sujeitos, com diferentes experiências de vida e cultura. Por isso, mesmo com uma mesma abordagem instrucional encontraremos estudantes com diferentes interpretações para um mesmo fenômeno. Isso ocorre porque os sujeitos interiorizam suas experiências de forma particular e constroem suas próprias idéias e significados sobre o mundo que os cercam.

A partir da década de 70, um grande número de estudos começou a aparecer na literatura. Nesses estudos, ficou evidente a preocupação dos pesquisadores em evidenciar as idéias dos estudantes em relação aos diversos conhecimentos científicos que são ensinados na escola. Surgia nessa década o movimento das concepções alternativas.

FENSHAM (2004) ao apresentar as evidências de progressão em diversas áreas da pesquisa em educação em ciências, discute as progressões nas pesquisas sobre concepções alternativas. Nesse momento, o autor sinaliza para o fato dessas pesquisas surgirem a partir do desdobramento crítico dos trabalhos realizados por Piaget e seus colaboradores. Fensham aponta as considerações feitas por Driver e Easley (1978) sobre a importância das visões das crianças sobre fenômenos científicos e da reformulação das entrevistas clínicas realizadas por Piaget, nas quais, não considerava a variedade de idéias apresentadas pelas crianças.

Segundo LEACH (1998), Rosalind Driver em sua tese de PhD, reconheceu que geralmente os conceitos utilizados pelos estudantes para explicar alguns eventos naturais, possuem uma estrutura estável que pode diferir radicalmente da estrutura do conhecimento

científico. Para o autor, um dos principais achados dessa tese está nas evidências assinaladas pela autora de que esses conceitos são construídos antes da instrução formal na escola e mesmo não possuindo o status de conhecimento científico, eles são internamente coerentes e que muitas vezes permitem aos estudantes obterem sucesso ao explicar alguns fenômenos. Esses conhecimentos pré-instrucionais foram designados por Driver como “estruturas alternativas”.

ABIMBOLA (1988) afirma que a visão de ciência do pesquisador em educação em ciência afeta diretamente a sua percepção sobre as concepções dos estudantes. Ele descreve duas escolas de pensamento em filosofia da ciência que podem influenciar a visão de ciência do pesquisador: (i) o empirismo e (ii) a “nova”<sup>2</sup> filosofia da ciência. Os pesquisadores em uma perspectiva empirista admitem que as concepções prévias dos estudantes sejam de esfera inferior ao conhecimento científico, dessa forma, esses pesquisadores atribuem um caráter negativo a essas concepções e que, portanto elas devem ser superadas. Já os pesquisadores na perspectiva da “nova” filosofia, atribuem certo valor as concepções prévias dos estudantes nessa perspectiva, essas concepções são entendidas como conhecimentos âncoras para as novas aprendizagens.

No mesmo trabalho, Abimbola apresenta uma série de terminologias que os pesquisadores utilizam para designar o conhecimento pré-instrucional dos estudantes, levando em consideração as visões epistemológicas descritas anteriormente. Os pesquisadores empiristas, que atribuem status inferior às concepções alternativas dos estudantes, utilizam termos como “concepções erradas” (misconceptions); “conceitos errôneos” e “idéias errôneas”. Já os pesquisadores na visão da “nova” filosofia da ciência, utilizam termos como “concepções atuais”; “esquemas prévios”; “concepções prévias”; “idéias alternativas”;

---

<sup>2</sup> A “nova” filosofia da ciência é exemplificado por trabalhos como de Kuhn (1962,1970); Lakatos (1970); Toulmin (1953, 1967,1977) que defendem uma visão mais relativista da ciência. Essa filosofia aparece de forma ortodoxa à visão empirista como forma de construção do conhecimento científico. Segundo essa corrente de pensamento, o progresso na ciência não ocorre de forma cumulativa, mas sim através de significativas mudanças conceituais.

“concepções alternativas”; denotando uma tolerância aos conhecimentos que não coincidem com o conhecimento científico.

As concepções podem ser vistas como um esquema teórico constituído de idéias que são concebidas pelo sujeito para dar significado ao mundo e nesse esquema às “concepções alternativas”, apesar das diferentes terminologias apresentadas anteriormente, representam conhecimentos parciais ou incompletos e que, por isso, é admissível a presença de elementos de erro em relação às acepções científicas de um conceito. Essas concepções alternativas possuem traços de pensamento intuitivo, correspondendo a um traço primitivo primordial para a construção de uma lógica formal que se encontra associado aos conceitos científicos.

Os diversos estudos realizados para identificar as concepções dos estudantes sobre conceitos científicos, sinalizam que as concepções alternativas das crianças e adolescentes são pessoais, construídas a partir de suas experiências cotidianas em todos os aspectos de sua vida (DRIVER *ET AL*, 1994,1996). Essas concepções são bastante estáveis e resistentes à mudança, de modo que é possível encontrá-las mesmo em estudantes que passaram pela instrução formal, até mesmo entre estudantes universitários (SHIPSTONE, 1984,1988; SMIT E FINEGOLD, 1995; DUIT E RHONECK, 1998; MULHALL *ET AL*, 2001). Outra característica dessas pesquisas é que realizadas em diferentes partes do mundo, elas mostraram o mesmo padrão de idéias em relação a cada conceito investigado (SHIPSTONE, 1984, 1988; DRIVER *ET AL*, 1994, 1996; CEPNI E KELES, 2006).

Alguns trabalhos tentam fazer um paralelo entre o desenvolvimento no estudante de uma concepção sobre um determinado conceito e o desenvolvimento histórico desse conceito. Piaget foi dos primeiros psicólogos a tratar do paralelismo existente entre os processos de pensamento individuais e a história da ciência. Um exemplo desse paralelismo é apresentado por SONG *ET AL* (1997) para o conceito de inércia. Para esses autores, são consideráveis as similaridades entre as concepções dos estudantes e a visão dos cientistas do passado. O



mesmo argumento é utilizado por Andersson e Karrqvist<sup>3</sup> (citados em RAFTOPOULOS ET AL, 2005) para falar sobre o entendimento dos estudantes sobre a luz, segundo esses autores o desenvolvimento de modelos intuitivos sobre a luz refletem sobre o atual desenvolvimento desses modelos desde a antiguidade até Kepler.

As pesquisas sobre concepções alternativas dos estudantes fortaleceram a visão construtivista no processo de aprendizagem. Nessa visão de aprendizagem, o estudante é o principal responsável pela construção do seu próprio conhecimento. É reconhecido também que na perspectiva construtivista, as idéias prévias dos estudantes desempenham um papel fundamental em sua aprendizagem, pois os seus conhecimentos prévios irão influenciar a construção do novo conhecimento. BIGGS (1992) reconhece que os estudantes não aprendem de uma maneira compartimentada, mas sim, que eles constroem o que eles sabem mudando a natureza do seu entendimento prévio sobre um determinado conceito.

### **2.1.2-Processo de mudança conceitual**

Associada a visão de aprendizagem construtivista, ficou em evidência um modelo de ensino para lidar com as concepções alternativas dos estudantes para transformá-las em conceitos científicos: o modelo de mudança conceitual. Esse modelo também pode ser associado ao processo de aprendizagem em ciências. Várias pesquisas propuseram estratégias para promover a mudança conceitual nos estudantes (CROSGOVE ET AL, 1985; SHIPSTONE E GUNSTONE, 1985; HAMEED ET AL, 1993). Essas estratégias geralmente incluem o levantamento das concepções prévias dos estudantes, para submetê-los a novas experiências que os colocassem diante de um conflito cognitivo e a necessidade da mobilização de novos conhecimentos que são requeridos para resolver a tarefa, poderia ajudar

---

<sup>3</sup> Andersson, B.e Karrqvist,C. How Swedish pupils, Aged 12-15 years, understand light and its properties. *European Journal of Science Education*, v.5, n.4, p. 387-402, 1983

os estudantes a reestruturar o seu pensamento e com isso modificar a estrutura das suas concepções.

POSNER ET AL (1982) apontam 4 condições básicas para que ocorra a mudança conceitual: (i) a insatisfação com os conceitos existentes diante de novas experiências,(ii) a nova concepção deve se mostrar disponível e inteligível,(iii)a nova concepção deve se mostrar plausível ao estudante e (iv) a nova concepção deve ser frutífera para fornecer novos *insights*. Os ditos de Posner e seus colaboradores nos fazem refletir para o fato de que a simples submissão dos estudantes a situações de conflito cognitivo, como propõe várias estratégias de ensino, não implica necessariamente na reestruturação de suas idéias, trata-se de um processo que ocorre em longo prazo e que requer tempo e circunstâncias favoráveis.

O modelo de mudança conceitual mais conhecido na educação em ciências foi proposto por POSNER ET AL (1982). Nesse modelo, os autores fazem uma analogia entre a teoria da construção do conhecimento científico, proposto pela filosofia da ciência (principalmente pela teoria de Thomas Kuhn), e o processo de mudança conceitual para a aprendizagem de conceitos científicos. A construção do conhecimento científico passa por duas fases. Na primeira fase, os paradigmas<sup>4</sup> são aceitos pela comunidade científica sem qualquer contestação, esse período é denominado “ciência normal”. A segunda fase ocorre quando os paradigmas antes aceitos precisam ser modificados para aquisição de novos conceitos para explicar o mundo, essa fase corresponde à fase revolucionária. Nos dois parágrafos que seguem, discutimos sobre a associação existente nas mudanças conceituais das teorias científicas e na aprendizagem dos estudantes.

Quando o estudante depara com uma nova concepção, ele pode agir de duas formas frente a essa nova informação. Primeiramente a nova concepção pode ser interpretada

---

<sup>4</sup> A teoria central de Thomas Kuhn é que o progresso nas teorias científicas não ocorrem de forma cumulativa e sim através de significativas mudanças conceituais. Essas mudanças conceituais ocorrem no período de desenvolvimento científico, em que são questionados os conceitos, as teorias, os princípios e metodologias que orientavam a prática científica. O conjunto desses fatores Kuhn chama de paradigma.

utilizando a estrutura conceitual já existente e, portanto, ela pode ser incorporada nessa estrutura sem produzir modificações de natureza qualitativa. A outra possibilidade é que a nova concepção seja contraditória em relação às suas atuais concepções. Dessa forma, para o real entendimento da nova concepção a atual estrutura deve ser modificada de forma qualitativa, rompendo com as concepções existentes em sua estrutura conceitual. Posner e seus colaboradores chamam o primeiro processo de assimilação<sup>5</sup> (associado à primeira fase do processo de construção do conhecimento científico) e o segundo processo de acomodação (associado à segunda fase do processo de construção do conhecimento científico) e reconhecem o processo de mudança conceitual somente associada ao segundo processo.

Podemos transportar o processo de assimilação e acomodação descrito por Posner e seus colaboradores para o processo de mudança conceitual dos estudantes. No processo de assimilação, admite-se, que as concepções prévias dos estudantes são conhecimentos âncoras e se desenvolvem através da incorporação de novos elementos que sejam inteligíveis aos conhecimentos já presentes em sua estrutura conceitual. Essa perspectiva também é presente na teoria da aprendizagem proposta por AUSUBEL (1968), que entre os seus ditos ele afirma que *“o fator singular mais importante a influenciar a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Descubra isto e ensine de acordo”* (p. 4). O processo de acomodação está associado à interpretação mais dura e radical do termo mudança conceitual, admitindo que as concepções prévias dos estudantes devam ser superadas e substituídas pelos conceitos científicos.

Na literatura sobre mudança conceitual encontramos estudos que reconhecem a dificuldade da ocorrência de uma mudança na perspectiva revolucionária (DUIT, 1999; POZO ET AL, 1999), ou seja, esses estudos reconhecem as dificuldades existentes na evolução das concepções alternativas dos estudantes em direção às concepções científicas.

---

<sup>5</sup> Posner utiliza a dialética da assimilação e da acomodação da teoria piagetiana, mas sem nenhum compromisso de apropriar das idéias dessa teoria .

JOHNSON (2005) sustenta a crítica ao modelo clássico de mudança conceitual, sinalizando para aspectos metodológicos. O autor chama a atenção para a escassez, na literatura específica, de estudos que apresentem o propósito de acompanhar individualmente os estudantes em uma perspectiva longitudinal. Segundo Johnson, os estudos longitudinais podem contribuir significativamente para o debate associado a como os estudantes realmente aprendem em ciências. Já EL-HANI E BIZZO (2002) especulam que *“não ocorre um deslocamento da visão de mundo do estudante graças à aprendizagem de Ciências, mas, ao contrário, os conceitos científicos incompatíveis com sua visão de mundo são postos numa categoria à parte e eventualmente descartados”* (p.50).

Encontramos em ROWLANDS ET AL (2007) que até mesmo Posner, juntamente com Strike<sup>6</sup> um dos seus colaboradores do antigo modelo, em 1992 revisaram o modelo de mudança conceitual e agora eles sugerem que a instrução pode criar a consciência nos estudantes que os conceitos científicos são distintos dos conceitos cotidianos e que, portanto, podem ser aplicados a contextos específicos. Um exemplo dessa tomada de consciência ocorre durante uma conversa com um electricista. Esse profissional possui uma extensa experiência prática, mas não domina as acepções científicas associadas ao campo da eletricidade. Como professores de física, possuímos uma grande familiaridade com os conceitos presentes nesse campo, mas durante a conversa podemos utilizar termos como passagem de energia ou eletricidade quando nos referir-mos a corrente elétrica. Isso se faz necessário, pois a utilização dessa linguagem se torna importante para tornar o diálogo inteligível, mas durante o diálogo temos consciência que estamos operando em um modo inferior de formalização em relação aos conceitos abordados.

---

<sup>6</sup> STRIKE, K.A. e POSNER, G.J. A Revisionist Theory of Conceptual Change, In R. Duschl and R. Hamilton (eds.), 1992, *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice*, SUNY, Albany. Nesse trabalho os autores apresentam uma revisão do modelo de mudança conceitual proposto em 1982 por Posner et al.

### 2.1.3-Perspectiva de desenvolvimento conceitual

Nessa pesquisa investigamos a evolução dos modelos explicativos, especificamente sobre circuitos elétricos e sobre a natureza da luz no terceiro nível do currículo recursivo para verificar a influência desse ambiente de aprendizagem para o desenvolvimento conceitual dos estudantes. O indício de desenvolvimento conceitual e, portanto, da aprendizagem, será baseado na mudança no entendimento dos estudantes dos conceitos investigados nessa pesquisa. Não estamos tratando essa mudança como sendo de natureza necessariamente revolucionária como foi abordado anteriormente.

No entanto, a aprendizagem de conceitos por parte dos estudantes pode ser melhor interpretada se pensarmos que ela esteja associada com o desenvolvimento de habilidades, que dependem de vários fatores sejam eles de ordem experiencial, cultural, social ou educacional. As transformações que um determinado conhecimento sofre até atingir um nível formal de operacionalização, característico do conhecimento científico, também estão relacionadas à existência de estágios no desenvolvimento cognitivo. ASQUITH (s.d.) sugere que a aprendizagem do estudante não depende somente da instrução, mas também da sua motivação, dos estágios de desenvolvimento e do seu conhecimento prévio.

VOSNIADOU (2002)<sup>7</sup> reconhece que a teoria de mudança conceitual deve fornecer informações sobre outros aspectos que vão além dos processos cognitivos. A autora sugere que, para tratar a mudança conceitual, precisamos levar em consideração 4 variáveis:(i) mudanças cognitivas individuais; (ii) variáveis motivacionais e afetivas; (iii) o cenário educacional e (iv) informações sobre ambiente cultural e social.

---

<sup>7</sup> Essa autora apresenta uma perspectiva da psicologia desenvolvimental para a mudança conceitual. Ela reconhece que a mente humana tem desenvolvido através da evolução, mecanismos para informar sobre o mundo físico e social. Dessa forma, a estrutura conceitual que se desenvolve na infância é construída através das múltiplas experiências sensoriais que a criança tem com o mundo físico. Para a autora o processo de mudança conceitual está associado a reorganização dessa estrutura que é cercada de crenças e pressuposições e esse processo ocorre de forma lenta e gradual

Na pesquisa relatada nesse relatório focamos nossa investigação nos aspectos cognitivos. Em relação a esse aspecto, a autora reconhece a importância de uma abordagem de desenvolvimento cognitivo. Vosniadou considera que com essa abordagem é possível fornecer informações sobre como o conhecimento dos estudantes estão estruturados e também como esses conhecimentos podem mudar. Também é possível informar sobre os mecanismos que podem ser responsáveis para ocorrer essas mudanças, bem como sobre as estratégias de raciocínio utilizadas pelos estudantes. Em uma passagem do texto a autora afirma que:

*“Essas informações são essenciais para entender como a mudança conceitual ocorre e sobre como os fatores motivacionais e sociais podem promover a mudança conceitual. Nós não podemos dizer sobre como as variáveis motivacionais e sociais influenciam na mudança conceitual se nós não sabemos exatamente como ocorre a mudança conceitual.”(p.8).*

COLLIS ET AL (1998), por exemplo, investigaram o desenvolvimento das concepções das crianças sobre visão, antes e durante a instrução formal na escola, em termos de uma teoria cognitiva proposta por Biggs e pelo autor principal desse estudo Collis, denominado modelo SOLO. Os objetivos específicos dos autores estavam em analisar os elementos envolvidos na conceitualização da visão e explorar as hipóteses da estrutura do desenvolvimento das concepções da visão em termos da seqüência de desenvolvimento cognitivo proposto nessa teoria. Os resultados do estudo desses autores foram favoráveis em relação à hipótese inicial de que o desenvolvimento das concepções dos estudantes referentes à visão, segue a regra de desenvolvimento proposto por essa teoria cognitiva.

Na próxima seção, apresentamos uma descrição sucinta dessa teoria proposta por Biggs e Collis, evidenciando a apresentação dos estágios de desenvolvimento cognitivo previstos por esses autores e apresentamos o uso que faremos dessa teoria ao interpretar os resultados dessa pesquisa.

### *2.1.3.1-Teoria estrutural cognitiva- Os estágios de desenvolvimento cognitivo propostos por Biggs e Collis*

BIGGS e COLLIS desenvolveram, nos anos 70, um modelo estrutural cognitivo denominado modelo SOLO (Structure of the observed learning outcome). Nesse modelo, assim como na teoria proposta por Piaget, esses autores também reconhecem a existência de estágios de desenvolvimento cognitivo, mas diferentemente dos estágios piagetianos, eles são utilizados para avaliar qualitativamente a aprendizagem dos sujeitos para conteúdos específicos e não para avaliar o desenvolvimento do sujeito associado à lógica operatória em uma determinada fase de sua vida. Portanto, o que caracteriza um estágio não é a complexidade estrutural do pensamento como um todo, mas o nível de abstração do modo como os conteúdos de uma experiência são representados.

Apesar das diferentes perspectivas existentes entre a teoria piagetiana e a teoria de Biggs e Collis, os estágios propostos por esses autores, assim como na teoria piagetiana, seguem uma regra de desenvolvimento que surgem em idades mais ou menos definidas. Isso significa que é possível descrever, em termos de períodos de idade, alguns aspectos comuns da aprendizagem dos indivíduos.

Amantes (2005) em uma seção do seu relatório pesquisa, apresenta uma descrição dos 5 estágios ou modos de pensamento propostos por Biggs e Collis e as idades aproximadas para o surgimento de cada um deles:

- 1) **Sensório-motor-** (a partir do nascimento): é a maneira pela qual um recém nascido interage com o mundo, através de respostas motoras a estímulos sensoriais. Não se extingue com a aquisição de outros modos de pensamento, e está associado aos conhecimentos tácitos (que se manifestam no ato de fazer), através do qual o aprendiz estabelece relações com outros indivíduos e o meio que o cerca. As habilidades nesse modo são estritamente motoras.

- 2) **Icônico** (aproximadamente 18 meses)-nessa fase há uma espécie de internalização da ação através do uso de símbolos envolvendo frequentemente o uso de imagens de objetos. O instrumento de raciocínio básico nessa fase é associado ao uso do conhecimento intuitivo, que é diretamente percebido ou sentido. Assim como em todos os modos, ele não está presente somente na infância, ele cresce em poder e complexidade à medida que interage com outros modos.
- 3) **Concreto-simbólico**-(por volta dos 6 anos) -Nesse período há uma mudança significativa em termos de abstração, uma vez que surgem formas de simbolização aplicáveis as experiências do mundo. A representação se torna mais abstrata, uma vez que o indivíduo pensa em termos de objetos do mundo real. A aprendizagem do modo concreto simbólico lida com o conhecimento declarativo que expressa conhecimentos factuais e relações entre objetos e conhecimentos, demonstrado através do uso da linguagem escrita ou de símbolos matemáticos. O modo concreto-simbólico é aquele associado aos aspectos cognitivos mais elevados da vida cotidiana.
- 4) **Formal**- (aproximadamente 14 anos) enquanto o modo concreto simbólico lida com aspectos cognitivos do dia a dia, o formal envolve construtos mais abstratos, se referindo a um sistema simbólico no qual cada tópico dado está embebido, podendo ser usado para gerar hipóteses sobre formas alternativas de ordenar o mundo, incorpora e transcende circunstâncias particulares e seu pensamento se apóia em conhecimentos teóricos. Esse sistema abstrato apesar de surgir por volta dos 14 anos, ele não se generaliza automaticamente para todos os domínios de conhecimento e todo pensamento, alguns indivíduos podem nunca chegar a mobilizar essa forma de pensamento.
- 5) **Pós-formal** (por volta dos 20 anos)-o pensamento nesse modo é mais raro, e se remete ao mais alto nível de abstração, geralmente encontrado nos pós-graduandos,



corresponde a um alto nível de inovações, sendo que muitas práticas profissionais podem ser bem sucedidas sem que ele seja alcançado. O pensamento pós-formal está ligado à capacidade metacognitiva consciente.

É preciso ressaltar que nesse modelo teórico: (i) os estágios sucedem uma ordem, obedecendo às leis de desenvolvimento; (ii) o surgimento de um novo estágio não obstrui o funcionar de outro estágio, o que permite que o sujeito opere em modos distintos para diferentes campos de ação; (iii) o modo de operar com um determinado conceito em um determinado contexto não pode ser extrapolado para outro conceito ou contexto. (iv) em cada domínio de ação passa-se de um estágio a outro através de um ciclo de aprendizagem que envolve uma progressão em níveis crescentes de complexidade do nível de funcionamento (esse ciclo de aprendizagem corresponde à taxonomia SOLO). Assim mesmo que o sujeito não mude o estágio de representação do conhecimento ocorre uma evolução em seu entendimento quando ele muda de um nível para outro.

A progressão nos estágios está relacionada a diferentes fatores. A maturação física, associado ao desenvolvimento do sistema neuronal (que é estimulado por fatores ambientais), apesar de não ser suficiente é uma condição necessária para o desenvolvimento de uma alta ordem de pensamento.

Associado a maturação física, outras condições favorecem a progressão nos estágios ou nos modos de funcionamento do indivíduo: (i) o suporte social, ou seja, a interação com outras pessoas parece acelerar o desenvolvimento do aprendiz, pois serve de suporte para realização de tarefas que necessitam de um nível de operação tal que, sozinhos levariam mais tempo ou esforço para fazê-lo; (ii) o confronto com um novo problema, no qual o sujeito necessitando de um conhecimento a mais para solucioná-lo, por uma motivação intrínseca, é envolvido em um caminho cognitivo complexo; (iii) o conhecimento prévio do estudante é um fator determinante no desenvolvimento do sujeito; (iv) do processo de

escolarização que permite o aumento da familiaridade com os conceitos de um determinado conteúdo ou domínio de conhecimento.

Nesse trabalho não utilizamos a taxonomia SOLO, desenvolvida por esses autores, como forma de categorizar as respostas dos estudantes. Essa taxonomia está associada aos níveis de complexidade existentes na resolução de uma tarefa. Esses níveis estão presentes em cada um dos estágios e podem ser utilizadas como um possível instrumento para avaliar qualitativamente a aprendizagem dos estudantes.

Utilizamos para categorizar as respostas dos estudantes, e poder verificar os efeitos de aprendizagem nos mesmos, um sistema baseado em modelos hierárquicos que serão descritos posteriormente nesse relatório de pesquisa. Consideramos que com nossos modelos hierárquicos, assim como com a taxonomia SOLO, podemos estabelecer uma ordem hierárquica no entendimento das concepções de um determinado conceito e traçar o curso do seu desenvolvimento, permitindo, dessa forma, avaliar o patamar de entendimento do estudante em relação a esse conceito em um momento específico de sua formação.

No entanto, nesse estudo detivemo-nos em apresentar os estágios de desenvolvimento cognitivo proposto por esses autores, principalmente para falar sobre a perspectiva que estamos tratando o desenvolvimento conceitual dos estudantes. Utilizamos essa teoria e alguns resultados encontrados na literatura específica, como subsídios para validar a ordem existente entre os modelos do nosso sistema categórico e, portanto, especulamos sobre os possíveis modelos nos quais os estudantes em diferentes níveis de escolarização poderiam mobilizar, ao expressar seu entendimento sobre os conceitos associados ao funcionamento de um circuito elétrico simples e sobre os conceitos associados à natureza da luz.

## **2.2-Pensamento dos estudantes sobre eletricidade**

O pensamento dos estudantes sobre eletricidade é amplamente estudado pelos pesquisadores, há mais de três décadas. Essas pesquisas são em geral exploratórias e descritivas e investigam desde as noções mais simples sobre eletricidade tratadas no ensino fundamental até noções mais sofisticadas tratadas no ensino secundário ou até mesmo no nível universitário.

Nesta seção, apresentamos uma revisão da literatura que retrata os conhecimentos produzidos por algumas dessas pesquisas, principalmente as que retratam as concepções dos estudantes sobre a física envolvida no funcionamento dos circuitos elétricos. Essas pesquisas foram discriminadas em dois grupos. Esses grupos foram construídos levando em consideração o foco dos investigadores ao acessar as idéias dos estudantes sobre o funcionamento de um circuito elétrico simples. No primeiro grupo, descrevemos as pesquisas que focaram suas investigações para acessar o entendimento dos estudantes sobre os conceitos de corrente elétrica e seu fluxo em circuito elétrico simples. No segundo grupo, apresentamos os trabalhos que focalizaram no conceito de diferença de potencial e do seu comportamento ao longo do circuito.

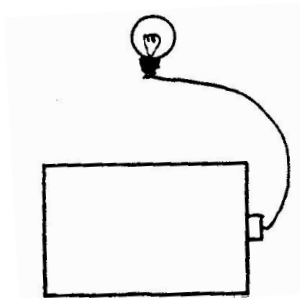
### **2.2.1-Foco da investigação no conceito de corrente e no fluxo de corrente elétrica em circuitos elétricos simples.**

David Shipstone dedica uma seção do livro *Ideas científicas em la infancia y la adolescência* (DRIVER ET AL, 1996), para relatar alguns estudos que focaram suas investigações sobre os aspectos da eletricidade em circuitos de corrente contínua, geralmente construídos com pilhas, resistências, lâmpadas, amperímetro e voltímetros. Segundo o autor diversos investigadores como THIBERGHIEEN E DELACÔTE (1976), OSBORNE (1983) examinaram o pensamento das crianças em relação à eletricidade antes de receber o ensino

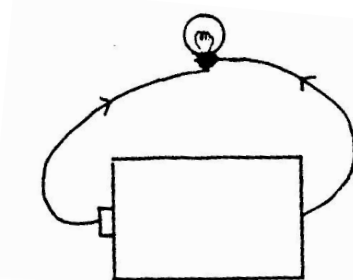
formal a respeito. Essas investigações foram realizadas através situações práticas simples contendo aparatos como lâmpada de lanterna, pilha e fios de conexão. Os resultados dessas investigações apontaram para a dificuldade das crianças em entender o princípio da conservação da corrente elétrica em um circuito elétrico e os pesquisadores também se atentaram ao fato das crianças não fazerem distinções entre algumas terminologias como eletricidade, a força, a tensão, a energia para falar sobre a corrente elétrica. Nessa perspectiva a corrente elétrica é “alguma coisa” que flui ao longo do circuito.

Além dos achados descritos anteriormente, Shipstone também apresenta os 4 modelos descritos por Osborne para mostrar como as crianças explicavam o funcionamento de um circuito elétrico simples:

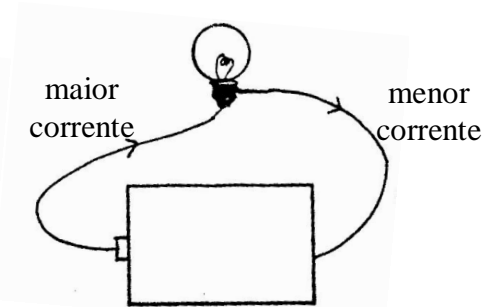
1. Modelo unipolar (figura 2.1)-Para o estudante só é necessário um cabo para ligar a pilha e a lâmpada para que ela possa brilhar. Essencialmente só considera ativo um pólo da pilha.
2. Modelo de choque entre correntes (figura 2.2)-Nesse caso são necessários dois fios no circuito e a corrente flui dos terminais da pilha em cada um dos fios para lâmpada. A corrente elétrica ainda é vista como algo que flui ao longo do circuito. Quando as duas correntes se encontram na lâmpada ela brilha.
3. Modelo de atenuação (figura 2.3)-A corrente flui ao longo do circuito em uma única direção, porém, a corrente que sai de um extremo é consumida ao passar por uma lâmpada e retorna para o outro pólo da pilha com uma intensidade menor. Quando a corrente passa por diversos componentes associados em série, cada componente sucessivo recebe menos corrente.
4. Modelo científico (figura 2.4)-a corrente elétrica sai de um pólo da pilha, passa através da lâmpada e retorna ao outro terminal com a mesma intensidade ao longo do circuito.



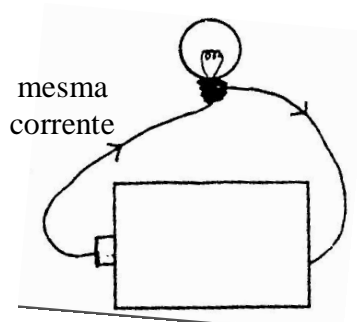
**Figura 2.1-**Modelo unipolar



**Figura 2.2-**Modelo de choque entre correntes



**Figura 2.3-**Modelo de atenuação



**Figura 2.4-**Modelo científico

**Fonte:** DRIVER ET AL, making sense of secondary science, 1994.

Segundo DRIVER ET AL (1994) os modelos descritos anteriormente levam a um raciocínio seqüencial, no qual “alguma coisa” que emerge da bateria e se propaga ao longo do circuito pelos fios provocando o brilho da lâmpada, dessa forma, você sempre consegue manter uma relação de causa e efeito.

Os estudantes que mobilizam o modelo científico proposto por Osborne, parecem entender o princípio da conservação da corrente elétrica, mas ao adotarem esse raciocínio seqüencial, eles mostram que não compreendem a idéia geral de um circuito como sendo um sistema interativo. Esses estudantes analisam o circuito em termos do que acontecem “antes” e “depois” da passagem da corrente e as mudanças que ocorrem no circuito provocam mudanças apenas locais (CLOSSET, 1983; SHIPSTONE, 1984, 1988; DUIT E RHONECK, 1998). Algum desses estudos também tem apontado que mesmo depois da instrução formal,

até mesmo em nível mais avançado, os estudantes continuam a mobilizar esse modelo seqüencial.

SHIPSTONE (1984) aplicou um instrumento que consistia em um teste de múltipla escolha, para investigar o pensamento dos estudantes de 11 a 18 anos de três institutos britânicos sobre eletricidade. Ele identificou todos os modelos encontrados por OSBORNE (1983) exceto o modelo unipolar e incluiu no seu sistema categórico, o modelo de compartilhamento. No modelo de compartilhamento, a corrente se divide entre os componentes elétricos do circuito. Portanto, em um circuito em série constituído por várias lâmpadas, todas elas terão o mesmo brilho, entretanto a corrente não é conservada. O autor também se refere ao modelo seqüencial ao tratar de circuitos elétricos mais complexos. Nesse estudo, o autor apresenta a popularidade de cada um dos modelos de acordo com a média de idade. Os resultados indicam que o modelo de “choque de correntes” diminui abruptamente com a idade e que ao contrário do modelo de “choques de correntes” o modelo científico de eletricidade cresce com a idade.

Em um estudo recente, CEPNI E KELES (2006) investigaram o nível de entendimento dos estudantes em diferentes níveis de escolaridade, sobre circuitos elétricos simples. Nesse trabalho, os estudantes deveriam representar através de um desenho, como uma lâmpada poderia brilhar ao ser conectada a uma pilha. As respostas dos estudantes foram categorizadas levando em consideração os modelos propostos por Osborne. Os resultados dessa pesquisa mostraram que os estudantes da Turquia possuíam muitas concepções espontâneas sobre funcionamento de circuito elétrico simples. Constataram também que o modelo unipolar era mais freqüente nas respostas do grupo dos estudantes da escola primária e para o grupo de estudantes do nível secundário o modelo de atenuação era o mais expressivo. Quanto os estudantes universitários eles tiveram maior representatividade no modelo científico. Esses

resultados se assemelham aos resultados encontrados por OSBORNE (1983) e SHIPSTONE (1984) em relação à popularidade de modelos e a média de idade dos estudantes.

Alguns estudos discutem a implementação de cursos que foram criados com intuito de promover uma mudança conceitual nos estudantes, para alcançarem o modelo científico sobre corrente elétrica. COSGROVE *ET AL* (1985), por exemplo, desenvolveram um curso de eletricidade básica sobre o funcionamento de circuitos elétricos simples para estudantes de 11 anos de idade. Quando o curso terminou, 86% dos estudantes usavam o modelo 4 descrito por Osborne, mas apenas 47% dos estudantes o mobilizaram ao final do semestre. Esse resultado evidencia o caráter robusto das concepções espontâneas dos estudantes que permanecem arraigadas em sua estrutura conceitual e podem ser reconstituídas mesmo depois da instrução formal.

Outros estudos investigaram o entendimento dos estudantes sobre eletricidade através da identificação dos seus modelos mentais sobre corrente elétrica (GENTNER E GENTNER, 1983; BORGES, 1996, 1999). Ao explorar o papel conceitual da analogia GENTNER E GENTNER (1983) apresentam dois modelos analógicos para corrente elétrica: (i) o modelo do fluido escoando que está associado ao modelo hidráulico simples. Essa analogia transporta a relação de dependência que constitui a lei de Ohm,  $V=RI$ , mas os estudantes que estão iniciando seus estudos em eletricidade e que utilizam essa analogia conseguem estabelecer somente simples relações proporcionais. (ii) modelo de objetos em movimento no qual a corrente elétrica é vista como objetos maciços que se movem através de um corredor. A fonte nesse caso corresponde como um poderoso instrumento de empurrar esses objetos.

Em seus estudos para identificar como evoluem os modelos mentais de seis diferentes grupos de indivíduos sobre eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo, BORGES (1999) identifica 4 modelos de eletricidade, 5 modelos de magnetismo e 3 modelos sobre eletromagnetismo. Os seus modelos de eletricidade estavam relacionados com a

natureza da corrente elétrica em um circuito simples. Apesar do foco da investigação não estar na forma de conexão dos componentes elétricos no circuito, os sujeitos dessa pesquisa foram entrevistados individualmente enquanto faziam várias atividades experimentais simples envolvendo circuitos elétricos, com pilhas e lâmpadas. A seguir identifiquei os modelos desenvolvidos por esse autor.

1. **Eletricidade como fluxo**-Esse modelo representa corrente elétrica como fluxo de “algo” no circuito. Termos como “eletricidade”, “energia”, “corrente” ou “voltagem” são pouco diferenciados e usados como equivalentes. A bateria é um reservatório dessa “coisa” que se move através do circuito e é consumida para produzir luz nas lâmpadas.
2. **Eletricidade como correntes opostas**-O modelo envolve a noção de dois tipos diferentes de eletricidade e as lâmpadas são entendidas como elementos bipolares. Cada corrente sai por um terminal da pilha e percorre o circuito e elas se encontram na lâmpada, produzindo luz. Corrente e energia não são conceitos diferenciados e usados indistintamente. Esse modelo se assemelha ao modelo de “choque entre correntes” proposto por OSBORNE (1983) e SHIPSTONE (1984) se diferenciando pelo fato que aqui o autor supõe que a corrente é formada por partículas carregadas.
3. **Eletricidade como cargas em movimento**- Nesse modelo os elétrons, ou prótons em alguns casos, movem-se de um terminal da pilha para o outro através de um circuito. Esses modelos envolvem o uso de novas entidades para explicar as transformações de energia ao longo do circuito. As pessoas que utilizam esse modelo descrevem o funcionamento do circuito em termos de um raciocínio seqüencial.
4. **Modelo científico**-O funcionamento do circuito é normalmente descrito em termos de um vocábulo mais funcional, envolvendo transformações de energia, voltagens e introduzem a noção de campo elétrico. A corrente é formada por cargas em



movimento sob uma diferença de potencial que cria um campo elétrico no interior do circuito. Nesse modelo o circuito é entendido como um sistema integrado, pois qualquer mudança ocorrida em um ponto do circuito produz uma perturbação elétrica que se propaga ao longo de todo o circuito.

### **2.2.2-Foco da investigação no conceito de diferença de potencial e no seu comportamento ao longo do circuito**

Algumas pesquisas sobre as concepções dos estudantes sobre diferença de potencial têm utilizado instrumentos com questões do tipo verdadeiro/falso para acessar o entendimento dos estudantes. MILLAR E LIM BEH (1993) não concordam que questões desse tipo, possam fornecer respostas confiáveis sobre o entendimento dos estudantes relacionados a esse conceito. Portanto, para acessar o entendimento dos estudantes sobre diferença de potencial, esses autores utilizaram um teste diagnóstico escrito que envolvia a predição, por parte dos estudantes, de medidas sobre a diferença de potencial em circuitos elétricos simples com resistores associados em paralelo. Os resultados desse estudo mostraram que poucos estudantes usam o modelo mental de diferença de potencial para resolver problemas de associação em paralelo, os estudantes geralmente utilizam a equação da lei de Ohm ( $V = R.I$ ) de forma mecânica.

Em outro trabalho MILLAR E KING (1993) relatam um estudo similar, no qual eles utilizaram a performance dos estudantes ao fazer predições em um voltímetro, para investigar o entendimento deles sobre o conceito de diferença de potencial em um circuito elétrico simples com resistores associados em série. Os autores focaram suas investigações sobre dois aspectos que são importantes para entender esse tipo de circuito: a regra da adição e da razão entre as diferenças de potenciais. Os resultados dessa investigação mostram que os estudantes tiveram uma alta performance para compreender a regra da adição, quando testada em uma situação simples, como no circuito com 2 resistores iguais associados em série. Porém, essa

performance não foi tão alta quando os estudantes tinham que prever o que acontecia com a diferença de potencial quando era associado uma alta e uma baixa resistência.

Nos trabalhos descritos anteriormente (MILLAR E KIAN LIM BEH, 1993; MILLAR E KING, 1993) os autores chamam a atenção para o fato da habilidade em responder corretamente as questões, como por exemplo, em prever corretamente as medidas no voltímetro em um circuito elétrico, não evidenciam os modelos mentais que os estudantes possuem sobre o conceito investigado (no exemplo, o conceito de diferença de potencial), no entanto, sustentam que essa habilidade é parte do seu entendimento sobre esse conceito.

DUIT E RHONECK (1998) afirmam que um dos conceitos mais difíceis em eletricidade básica é conceito de diferença de potencial. Eles apresentaram uma tarefa aos estudantes envolvendo circuito elétrico simples. Nessa tarefa os estudantes deveriam determinar o valor da diferença de potencial em determinados pontos do circuito com uma lâmpada associada em série com a fonte. Antes da instrução, para os estudantes, a diferença de potencial estava relacionada à “força” produzida por uma fonte ou intensidade da “força” de uma corrente. Logo depois da instrução eles utilizaram o conceito de diferença de potencial com as mesmas propriedades do conceito de corrente elétrica, isso foi evidenciado pelo fato que cerca de 40% dos estudantes, mesmo para os trechos onde não existiam elementos conectados, eles atribuíram uma queda de potencial igual a diferença de potencial da fonte.

### **2.3-Pensamento dos estudantes sobre natureza da luz**

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 são incipientes os estudos que investigam o entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz. Dentre esses estudos destacamos os trabalhos de SMIT E FINEGOLD (1995); RAFTOPOULOS *ET AL* (2005) e HUBBER (2006).

SMIT E FINEGOLD (1995) administraram um questionário em 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, esse estudante explicou a existência do modelo ondulatório e corpuscular 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>8</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 denominou “modelos híbridos”, justamente pelo fato dos estudantes considerarem os dois modelos como sendo um único modelo. Dentre esses modelos híbridos,

---

<sup>8</sup> O modelo realístico foi descrito 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.

o mais freqüente era o modelo do fóton entendido como sendo uma entidade de natureza ondulatória e corpuscular.

RAFTOPOULOS *ET AL* (2005) apresentam um ensaio educacional, interpretativo relacionados a aspectos históricos e filosóficos da história da ciência, especificamente sobre a heurística da construção de uma teoria científica ou programa de pesquisa científica. Nesse artigo, os autores reconhecem que na história da ciência, para uma mesma questão científica, pode haver mais de um modelo simultaneamente aceito pela comunidade científica, especificamente eles focam a discussão nos modelos sobre a natureza da luz. Os autores se detiveram a fazer associações entre os estudos de Newton e o ensino de óptica para mostrar algumas razões que levaram Newton a propor seu modelo da “teoria neutra” (no qual ele apresenta as propriedades da luz sem procurar explicar as causas dos fenômenos associados à natureza da luz) faz do modelo geométrico um tema convincente a ser introduzidos aos estudantes em óptica. Raftopoulos e seus colaboradores sugerem que os modelos de raios, propostos pela óptica geométrica, possam ser utilizados para ensinar os estudantes sobre a propagação da luz no espaço, especialmente para estudantes mais jovens que não possuem uma apropriada lógica de pensamento para entender os modelos ondulatório e corpuscular da luz.

## **2.4 Instrumentos para investigar a aprendizagem em ciências**

### **2.4.1-Instrumento qualitativo como método de pesquisa**

Alguns estudos criticam o uso de questionários de múltipla escolha ou de respostas dicotômicas do tipo verdadeiro/falso em pesquisas, por que eles não permitem acessar o entendimento conceitual em ciência. CAVALLO (2003) afirma que “*exames de múltipla escolha e de verdadeiro falso são deficientes em medir a habilidade dos estudantes para organizar e apresentar suas idéias e não são bem adaptados para avaliar habilidades na*

*resolução de problema e entendimento conceitual de ciências.*” (p.583). Já LEDERMAN ET AL (2002), se mostram preocupados com a pouca validade dos testes padronizados usados para acessar a visão da natureza da ciência que geralmente são compostos por questões fechadas com itens de múltipla escolha, questões do tipo concordo/discordo e do tipo Likert.

Nessa pesquisa, iniciamos um trabalho de desenvolvimento de um conjunto de instrumentos, qualitativos, principalmente de questões abertas para investigar se os currículos desenvolvidos e ambientes de aprendizagem implementados geram ou sustentam o desenvolvimento conceitual dos estudantes.

Desenvolvemos dois instrumentos qualitativos para acompanhar o desenvolvimento do pensamento dos estudantes na área de eletricidade (circuitos elétricos simples) e da óptica e física moderna (natureza da luz) durante o terceiro nível do currículo recursivo. A lógica desses instrumentos consiste em formular tarefas relativas aos aspectos relevantes sobre o conhecimento conceitual dos estudantes e analisá-las utilizando sistemas hierárquicos de modelos explicativos. Manteremos nosso esforço para desenvolver instrumentos que envolvam as principais áreas da física como: (i) eletromagnetismo, (ii) energia mecânica, térmica e elétrica, (iii) explicação newtoniana do movimento, (iv) ótica geométrica e física (v) física ondulatória.

A investigação dessa natureza associa o resultado dos alunos ao ambiente de aprendizagem. O estudo que desenvolvemos nessa dissertação, se enquadra em uma das modalidades de pesquisa que envolve o ambiente de sala de aula descritas por FRASER (2002)<sup>9</sup>. O autor afirma que é comum encontrar na literatura essas associações entre o ambiente e os resultados dos alunos tanto no campo cognitivo como no campo afetivo. Nessa pesquisa, nos detivemos aos aspectos cognitivos, com o propósito de investigar a progressão no entendimento dos estudantes sobre determinados conceitos físicos.

---

<sup>9</sup> As outras modalidades descritas por FRASER(2002) são: (i)avaliação de inovações educacionais, (ii)diferenças entre as percepções dos estudantes e do professor de uma mesma sala de aula, (iii)uso de métodos de pesquisa qualitativos e (iv) estudos transculturais, (vi) determinantes do ambiente de sala de aula.

Esse tipo de pesquisa exige intervenção no ambiente real de ensino. A utilização de métodos de coleta de dados que permitam obter resultados de forma rápida e simples e métodos de análise que consorciem técnicas qualitativas e quantitativas têm bom potencial para isso (SPINNER E FRASER, 2005). Assim os instrumentos de pesquisa baseados em questionários abertos, são ferramentas adequadas para estes fins.

#### **2.4.2-Alguns pressupostos sobre avaliação da aprendizagem**

Um propósito comum a qualquer proposta curricular em ciências diz respeito ao fato que ao final da educação básica, o estudante deva conhecer os principais modelos da ciência. Conhecer não somente no sentido de saber declarar ou falar sobre o modelo, mas sim de entender os pressupostos envolvidos na construção desses modelos e também compreender os principais conceitos associados a eles. Professores de ciências são desafiados, em sua prática docente, a desenvolver testes avaliativos que forneçam informações mais acuradas sobre o entendimento dos estudantes a respeito desses conceitos.

BIGGS (1992) faz uma associação entre as correntes teóricas sobre a aprendizagem e suas possíveis implicações para a avaliação. Baseado em COLE (1990), que aponta duas tradições no pensamento educacional (uma tradição quantitativa e uma tradição qualitativa)<sup>10</sup>, Biggs apresenta as implicações dessas tradições para a avaliação que apresentaremos no parágrafo a seguir.

---

<sup>10</sup> A aprendizagem na tradição quantitativa é concebida como um processo cumulativo de conteúdo, o que determina que um bom aprendiz é aquele que consegue acumular uma maior quantidade de informações. Esses conteúdos são evidenciados em termos de unidades desconexas com ênfase no conhecimento declarativo ou procedural. Essa tradição é derivada da visão comportamentalista da aprendizagem. Na tradição qualitativa as correntes teóricas têm em comum a visão construtivista para o conhecimento. A ênfase nas teorias construtivistas está na participação ativa do sujeito no processo de construção do conhecimento e no reconhecimento de que o conhecimento é construído através das concepções que ele já possui sobre um determinado fenômeno. Nessa perspectiva as concepções prévias dos estudantes são vistas como conhecimentos parciais.

Na tradição quantitativa, a avaliação possui o caráter somativo baseado em indicadores de performances, no qual o estudante que acerta mais questões em um teste tem uma alta performance e que por isso, de forma errônea tradicionalmente é classificado como detentor do conhecimento. Esse tipo de avaliação ocorre em momentos específicos, com conteúdos específicos e, portanto, não está preocupado em verificar o progresso dos estudantes. A tradição qualitativa é baseada em uma perspectiva longitudinal de avaliação. Nessa perspectiva, o professor que utiliza essa estratégia está preocupado em acompanhar os seus estudantes em relação ao desenvolvimento cognitivo, ou seja, o resultado dos estudantes deve ser definido em termos de seu progresso ou desenvolvimento em relação a um determinado conceito.

#### **2.4.3-O nosso argumento**

Haslam e Treagust<sup>11</sup> (citados por STEIN, *ET AL*,2007) afirmam que as entrevistas, principalmente individuais, são os principais instrumentos utilizados pelos pesquisadores para acessar o pensamento dos estudantes sobre conceitos científicos. Entretanto, reconhecemos que esse método não seja útil para os professores como forma de avaliar o entendimento dos estudantes, uma vez que em ambientes reais de ensino o professor não dispõe de tempo hábil para analisar as respostas dos estudantes para agir sobre sua prática mais imediata ou até mesmo para fornecer o *feedback* necessário aos estudantes, etapa muito importante no processo de avaliação.

ODOM E BARROW (1995) defendem a necessidade de se desenvolver testes de lápis e papel para os professores avaliarem o entendimento conceitual dos seus estudantes. Diante desse panorama, consideramos que os instrumentos qualitativos que desenvolvemos para essa

---

<sup>11</sup> Haslam, F. e Treagust, D. F.(1987)Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *Journal of Biological Education*, 21,p. 203–211.

pesquisa e os outros que pretendemos desenvolver para outros campos da física, possam tanto ser utilizados para investigar o desenvolvimento conceitual dos estudantes para avaliar a qualidade do ambiente de aprendizagem implementado, como pode ser utilizado pelos professores como uma ferramenta de avaliação para acompanhar o progresso na aprendizagem dos seus estudantes. Nos próximos parágrafos continuamos a desenvolver esse argumento.

Levando em consideração o que dissemos, o tipo de pesquisa que realizamos envolve intervenção no ambiente de ensino, mas no caso dessa pesquisa essa intervenção ocorreu em uma situação ecologicamente válida. Isso significa que durante a nossa coleta de dados, não alteramos o ambiente de aprendizagem, já que atividades de questões abertas, como as desenvolvidas no nosso instrumento de pesquisa, fazem parte da rotina nas aulas de física na IFE onde realizamos essa pesquisa. O tipo de questão que propusemos, são respondidas como tarefas escolares usuais. Nesse contexto específico, o instrumento qualitativo já era utilizado como método avaliativo, mas consideramos que esses instrumentos possam ser utilizados por qualquer professor em qualquer instituição de ensino, pois não demandam recursos materiais de difícil acesso, constituindo-se somente de uma atividade de lápis e papel.

A nossa contribuição específica está no desenvolvimento do sistema de categorias para o qual analisamos as respostas dos estudantes e acessamos o seu entendimento conceitual. O professor poderá utilizar o sistema hierárquico de modelos explicativos para avaliar qualitativamente seus estudantes. Consideramos que entre os professores de física, os modelos descritos no nosso sistema categórico sobre circuito elétrico simples e sobre a natureza da luz, sejam familiares. Apostamos na familiaridade desses modelos, uma vez que eles são culturalmente aprendidos pelos estudantes, seja no contexto do mundo experiencial ou no contexto escolar, por isso, consideramos que os nossos instrumentos possam ser facilmente administrados e utilizados de maneira proveitosa pelo professor.



### **3-Delineamento metodológico**

#### **3.1-Sujeitos da pesquisa**

Participaram dessa pesquisa 134 estudantes da 3ª série, correspondendo ao terceiro nível do currículo recursivo, da IFE citada anteriormente. Ela oferta, desde 1998, ensino médio e ensino médio concomitante com o ensino técnico (EMT) 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 estudantes 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 estudantes 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 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.

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. 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 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.

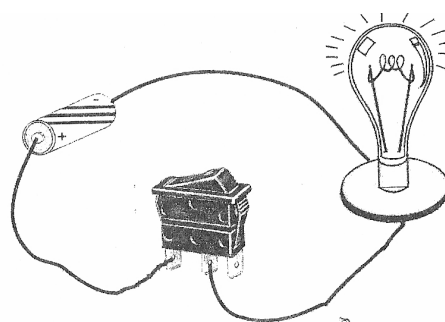
Dos 134 estudantes que compõe a terceira série do ensino médio, analisamos os dados de 106 estudantes. Essa diferença entre o total de estudantes da série e os estudantes efetivamente investigados, se deve ao fato de alguns estudantes não participarem dos dois momentos medida. Isso também explica o fato do número de estudantes que fizeram parte da análise, em cada uma das turmas, fossem diferentes para duas investigações realizadas nessa pesquisa.

### 3.2-A coleta de dados e a lógica da investigação

Como argumentamos anteriormente, nessa pesquisa adotamos os questionários com questões abertas como instrumento de coleta de dados. Esses instrumentos consistiam em duas tarefas envolvendo o desenvolvimento de duas dissertações:

a) A primeira situação envolve um problema sobre uma situação física associada aos conceitos relacionados ao funcionamento de um circuito elétrico simples.

*Uma ação cotidiana e corriqueira é apertar um interruptor e acender uma lâmpada, no teto ou no abajur. A figura mostra um modelo mais simples dessa situação: uma pilha comum está ligada a um interruptor e a uma lâmpada de lanterna. Ao*



**Figura 3.1-**Representação de um circuito elétrico simples

*pressionar o interruptor a lâmpada acende. Redija um texto explicando, de forma mais clara possível, tudo o que ocorre na pilha, fios, interruptor e na lâmpada quando ela está acesa.*

b) A segunda situação envolve uma questão direta de explicitação, na forma escrita, do seu entendimento sobre a natureza da luz.

*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?***

A coleta de dados foi baseada no método de medidas repetidas, ou seja, os instrumentos foram aplicados em dois momentos diferentes. No início do ano, para acessar aos conhecimentos prévios que os alunos tinham ao iniciar o curso. Os mesmos instrumentos

foram aplicados no final do ano, especificamente no último trimestre letivo, para analisar se houve progresso no modelo utilizado pelos estudantes depois de ter reestudado o tópico eletricidade e óptica física na terceira série do ensino médio.

Consideramos que com a lógica de acompanhar longitudinalmente os estudantes ao longo do ano, tivemos acesso às mudanças nos seus modelos explicativos durante o terceiro nível do currículo recursivo e dessa forma pudemos atender a um dos nossos objetivos propostos de verificar se um ambiente de aprendizagem pautado na recursividade dos conteúdos promove o desenvolvimento conceitual dos estudantes.

Em relação aos instrumentos utilizados nessa pesquisa, eles permitiram que a análise dos dados fosse feita conciliando métodos qualitativos e quantitativos. Em um primeiro momento apresentamos a análise qualitativa, nessa perspectiva construímos o nosso sistema de categorização fundamentado em termos dos modelos apresentados pelos estudantes sobre circuitos elétricos e sobre a natureza da luz. Nessa parte do relatório também apresentamos alguns exemplos típicos que representam cada um dos modelos apresentados no nosso sistema categórico. Em um segundo momento, descrevemos o tratamento quantitativo que utilizamos com o intuito de coletar evidências sobre a evolução dos modelos explicativos dos estudantes entre as duas ocasiões de medida nas quais os instrumentos foram aplicados.

### **3.3-Análise qualitativa**

#### **3.3.1-Criação do sistema categórico**

O instrumento de coleta de dados desse estudo permitiu eliciar o entendimento dos estudantes através dos modelos que eles utilizaram em suas explicações. Os modelos explicativos dos estudantes fornecem evidências do seu entendimento sobre os conceitos envolvidos nos fenômenos físicos.

Antes de iniciar a análise dos dados, introduzimos um processo de “mascaramento” dos sujeitos dessa pesquisa, ou seja, cada estudante foi identificado através de um código, composto por uma letra e uma seqüência aleatória de três números. Esse procedimento foi importante por dois motivos principais: (i) Como éramos (o orientador dessa pesquisa Oto Borges e eu) professores de quatro 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) temos o compromisso de manter as reais garantias de privacidade e anonimato dos sujeitos participantes.

Uma primeira leitura das respostas dos estudantes foi realizada, para elencar as diversas as suas diversas concepções sobre a física envolvida no funcionamento de circuito elétrico simples e nas suas 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.

Os modelos explicativos sobre circuitos elétricos foram identificados agrupando o conjunto de concepções utilizadas pelos estudantes para explicar a situação proposta, em relação ao nível de sofisticação e evolução dos conceitos utilizados. Durante o processo de construção do nosso sistema categórico, fizemos conexão com alguns trabalhos (principalmente OSBORNE, 1983, SHIPSTONE, 1984, BORGES, 1999) que construíram modelos para analisar o entendimento dos estudantes.

Os mesmos procedimentos foram utilizados para desenvolver o sistema categórico referente aos modelos sobre natureza da luz e para isso tomamos como base os trabalhos de SMIT E FINEGOLD (1995) e HUBBER (2006).

### 3.3.2-Modelos sobre circuitos elétricos

Os modelos identificados nesse trabalho foram baseados nos modelos de eletricidade propostos por OSBORNE (1983), SHIPSTONE(1984) e BORGES (1999). No nosso sistema categórico não consideramos somente a natureza da corrente elétrica, nos preocupamos também em descrever a interação da corrente com os elementos do circuito. Identificamos quatro modelos de eletricidade. Desses quatro modelos, três possuem sub-modelos, que capturam as distintas dimensões ao longo do mesmo modelo. Os quatro modelos e sub-modelos e suas características são apresentadas no quadro 1.

**Quadro 1- Modelos e sub-modelos sobre circuitos elétricos e suas características**

<b>Modelos</b>	<b>Características</b>
<b>Modelo 1</b>	<b>Corrente elétrica como fluxo</b>
Modelo 1.1	Os estudantes apresentam suas idéias de forma pouco inteligível e com elementos de erro, relacionadas às acepções científicas de um determinado conceito. Eles reconhecem que “algo” flui no circuito que isso é responsável pelo brilho da lâmpada. Não existe distinção entre termos como "corrente", "voltagem", "energia" e “eletricidade”. A pilha é entendida como uma fonte dessa entidade que flui ao longo do circuito.
Modelo 1.2	Os estudantes admitem o modelo de duas correntes elétricas ,ou seja, existe uma corrente positiva e outra negativa e ao se encontrarem na lâmpada ocorre a emissão de luz. A pilha é entendida como fonte dessas duas formas de corrente.
<b>Modelo 2</b>	<b>Corrente elétrica como cargas em movimento</b>
Modelo 2.1	Os estudantes ainda não reconhecem as estruturas internas dos elementos do circuito. Reconhecem a corrente elétrica como o fluxo de cargas que tem origem na pilha. Não identificam qual portador de carga que se move no circuito. O brilho da lâmpada é explicado pela passagem ou acúmulo dessas cargas no seu filamento.
Modelo 2.2	Os estudantes ainda não reconhecem as estruturas internas dos elementos do circuito e quando reconhecem, ficam restritas ao que é observável. Reconhece a corrente elétrica como fluxo de elétrons (cargas negativas), que são responsáveis pelo brilho da lâmpada, ao atravessá-la. A pilha é entendida como fonte de corrente para o circuito.
<b>Modelo 3</b>	<b>A diferença de potencial da fonte sendo responsável pela corrente elétrica estabelecida no circuito</b>
Modelo 3.1	O modelo apresentado pelos estudantes é mais sofisticado que o anterior. Fazem referência à diferença de potencial na pilha como responsável pela corrente elétrica estabelecida e como agente de força para os elétrons fluírem ao longo do circuito. A lâmpada é entendida como um dispositivo que transforma energia elétrica em energia luminosa através da passagem da corrente elétrica. Nesse modelo, os estudantes já introduzem termos mais abstratos em suas respostas como elevação e queda de potencial.

Modelo 3.2	Os estudantes possuem um razoável conhecimento dos processos internos dos elementos do circuito, como os mecanismos internos que são responsáveis pela manutenção da diferença de potencial ou desgaste da pilha. Todos os estudantes reconhecem a corrente elétrica como fluxo de elétrons. Explicitam melhor as transformações de energia que ocorrem na lâmpada, introduzindo o fenômeno da incandescência do filamento da lâmpada.
Modelo 3.3	A pilha é reconhecida como agente ativo para manter a continuidade da corrente que é entendida como o fluxo de elétrons livres no condutor. Ao explicar esse fenômeno, os estudantes se referem a uma entidade física mais abstrata, que não aparece nos outros modelos: a idéia de força eletromotriz. As explicações para o brilho da lâmpada são baseadas no fenômeno da incandescência partindo para uma descrição mais acurada desse efeito.
<b>Modelo 4</b>	<b>Modelo microscópico</b>
	Os estudantes utilizam a noção de campo elétrico para explicar os fenômenos. Nessa perspectiva a diferença de potencial estabelecida na pilha cria um campo elétrico que se propaga ao longo do circuito. Utilizam modelos microscópicos, baseados no modelo da emissão da radiação no modelo da física quântica, para explicar as transformações de energia na lâmpada.

Os modelos da forma como estão descritos no quadro 1, seguem uma ordem em relação ao nível de sofisticação das concepções envolvidas e também como eles são aprendidos culturalmente pelos estudantes em relação a sua faixa etária e seu nível de escolarização. Uma descrição mais acurada sobre a hierarquia existente nesses modelos será apresentada nesse relatório de pesquisa, na seção de resultados no momento que especulamos sobre a performance dos estudantes em relação à mobilização desses modelos.

### 3.3.3-Modelos sobre natureza da luz

Assim como o sistema categórico sobre circuitos elétricos, os modelos que compõem o sistema categórico sobre a natureza da luz também possuem um caráter ordinal. Nesse caso a hierarquia nesse sistema além de levarmos em consideração que esses modelos são aprendidos pelos estudantes em diferentes períodos de sua formação, procuramos associar a evolução histórica existente na construção dos modelos sobre a natureza da luz. Admitimos como menos sofisticadas as respostas nas quais os estudantes não recorrem a modelos em suas explicações e admitimos que nas respostas mais sofisticadas os estudantes lançam mão dos modelos científicos referentes a natureza 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 concepções alternativas 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>12</sup>. O sistema categórico é apresentado no quadro 2.

**Quadro 2- 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 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 e Einstein, 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.

<sup>12</sup> Ver DRIVE ET AL (1996) no capítulo 2 escrito por Edith Guesne



<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 oferecem concepções alternativas por possuírem 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 ondulatório e corpuscular, sendo visto como um único modelo. Eles apresentam “modelos híbridos” <sup>13</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 idealizada 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.
<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.

### 3.3.4-Categorização das respostas dos estudantes

#### 3.3.4.1-Funcionamento do circuito elétrico simples

Estamos cientes que na nossa análise estamos indo muito além da declaração dos estudantes, uma vez que os modelos no qual classificamos suas respostas não foram explicitados diretamente, mas foram inferidos por nós. Mesmo a nossa análise sendo carregada de inferências, conseguimos acumular evidências sobre o entendimento dos estudantes em relação à física envolvida no funcionamento de circuito elétrico simples.

Em algumas respostas dos estudantes, encontramos dificuldades para classificá-las em um modelo específico, pois diferentes concepções foram identificadas ou usaram termos inadequados ao explicitar seu entendimento, dando a essas respostas margem para mais de uma interpretação. A resposta do estudante *A110* possui esse perfil, ao responder a questão no primeiro momento de aplicação ele afirma:

<sup>13</sup> Esse termo foi introduzido por Hubber(2006)

*“A situação mostrada refere-se a um circuito, circuito esse em série. Temos um circuito em série quando a corrente elétrica gerada pela pilha não se divide ao longo do circuito. A pilha é um sistema que ocorre reação química de oxidação, essa reação faz com que haja uma diferença de potencial, elétrons em movimento. O interruptor é utilizado para fechar o circuito e assim fazer com que a reação na pilha aconteça. A lâmpada, fornecedora da energia gerada pela pilha, tem um filamento de tungstênio que quando recebe a energia fica incandescente.” (A110)*

Em uma análise inicial, identificamos concepções pertencentes ao modelo 3, quando o estudante associa o brilho da lâmpada ao fenômeno da incandescência e utiliza o conceito de diferença de potencial associada a pilha e do reconhecimento dos processos internos para manutenção dessa diferença de potencial na fonte. Mas ele não deixa claro se essa diferença de potencial é o agente responsável pela corrente elétrica estabelecida no circuito. Na mesma resposta, identificamos traços do modelo 1, ao utilizar o termo energia para falar sobre corrente elétrica. Como não incluímos em nosso sistema uma categoria “modelo misto” para essa resposta especificamente consideramos as suas concepções referentes a natureza da corrente elétrica e nesse caso essa resposta foi classificada como pertencente ao modelo 1.

A maioria das respostas dadas pelos estudantes exprime bem os modelos identificados nesse estudo. Por exemplo, o estudante A168 afirma que *“A pilha produz uma tensão, a qual é conduzida através dos fios para a lâmpada e o interruptor. O interruptor serve como uma chave que permite se a corrente produzida passe por ele sim ou não. Quando ela chega na lâmpada a qual acende.”* Essa resposta foi classificada como pertencente ao modelo 1. Fica claro que ele não faz distinção entre corrente elétrica e tensão e a pilha como a fonte dessa entidade que flui ao longo do circuito.

Um outro exemplo de resposta pertencente ao modelo 1, foi dada pelo estudante A106 que deu a seguinte explicação para a situação proposta: *“A pilha possui dois pólos, um positivo (formado por prótons) e um negativo (formado por elétrons), estas cargas tendem a se atrair, quando o interruptor está desligado esta atração é barrada, já quando este é ligado as cargas ocorre uma atração formando assim uma corrente(...).”* Nessa resposta, o

estudante reconhece que algo flui no circuito e ele chama esse algo de corrente elétrica. Mas apesar de não deixar claro em sua resposta, ela nos deixa entender que para ele a corrente elétrica é formada pelo movimento de duas entidades uma positiva e outra negativa.

Para exemplificar uma resposta na qual foi mobilizado o modelo 2 no qual a corrente elétrica é vista como cargas em movimento e o brilho da lâmpada é explicado pela passagem dessas cargas, temos o estudante A128. Para ele, *“na pilha existe dois pólos, onde há circulação de cargas elétricas do pólo negativo para o pólo positivo. Os fios servem de condutores para as cargas. O interruptor faz com que a circulação possa ser interrompida ou não. A circulação de carga passa pela lâmpada que possui um pequeno filamento ondulado, que faz com que a carga sofra choques, assim emitindo luz.”* Percebemos que nessa resposta o estudante não identifica qual portador de carga que se move no circuito. Já o estudante A194 reconhece a corrente elétrica como o fluxo de elétrons, vejamos a sua resposta para a questão: *“Quando ligamos o interruptor, a pilha transfere elétrons para o fio que é um material condutor. O fio transfere para a lâmpada esses elétrons fazendo com que ela acenda.”*

Em relação ao modelo 3, no qual os estudantes associam a diferença de potencial da fonte como agente responsável pelo surgimento da corrente elétrica, constituída pelo fluxo de elétrons no circuito. O estudante A185 apresenta um exemplo típico desse modelo quando ele afirma que *“ este esquema mostra um circuito em série. Nesse a pilha é uma fonte de energia que causa a diferença de potencial (ddp) ou tensão. A lâmpada é a resistência que utiliza a energia de movimentação dos elétrons para aquecer o filamento e emitir luz. O interruptor é responsável pelo fechamento(liga) e pela abertura (desliga) do circuito . Dessa forma, ao fecharmos o circuito com o interruptor, o fluxo de elétrons do pólo positivo da pilha para o negativo-corrente convencional- passa a ser possível(...) ”*. Já o estudante A103, reconhece

os mecanismos internos que são responsáveis pela manutenção da diferença de potencial da pilha:

*“A diferença de potencial existente entre os pólos da pilha, derivada de uma reação química no interior da mesma, vai gerar a corrente elétrica, o que irá acender a lâmpada. A corrente elétrica trata-se de um movimento dos elétrons livres ao longo do fio condutor, para a extremidade positiva da pilha. Esses elétrons, ao passarem pela lâmpada, encontram uma resistência no filamento da lâmpada, e a energia dos mesmos será convertida em luz e calor.” (A103).*

Nessa resposta o estudante lança mão de idéias mais abstratas ao associar a corrente elétrica como meio de transporte de energia elétrica que vai ser transformada em outra forma de energia (luz e calor) pela lâmpada. Já o estudante A120 introduz a noção de força eletromotriz exercida pela pilha para manter a continuamente da corrente elétrica no circuito: *“Os elétrons que saem do pólo negativo da pilha, passam pelo interruptor, através dos pontos que se ligaram, e continuam a percorrer o fio até chegar à lâmpada. Nesta os elétrons passam por um filamento onde emitem luz. Ao passar pela lâmpada, voltam a percorrer o fio até chegarem a pilha. Com a força eletromotriz da pilha estes elétrons são levados do pólo positivo ao negativo. Neste momento o processo se repete até o interruptor ser apertado.”*

O modelo 4 é modelo mais acurado do nosso sistema categórico, ele se aproxima do modelo de Drude-Lorentz para a condução elétrica em metais. Os estudantes, em sua maioria, que mobilizaram esse modelo apresentaram um pensamento sistêmico ao analisar o funcionamento do circuito elétrico, isso porque eles utilizam a noção de campo elétrico como agente responsável por alterações simultâneas em todos os pontos do circuito. Identificamos na resposta dada pelo estudante A118 esse modelo. Para o estudante:

*“Ao pressionar o interruptor fecha-se o circuito, assim a pilha produz uma diferença de potencial que faz surgir instantaneamente e em todo o circuito um campo elétrico que induz nos elétrons livres presentes no fio e no filamento da lâmpada uma velocidade. Dessa forma obtém-se a corrente elétrica necessária para acender a lâmpada.” (A118).*

### 3.3.4.2-Natureza da luz

Para categorizar as respostas dos estudantes em termos dos modelos sobre a natureza da luz, também depositamos uma carga inferencial durante o processo de análise. Mas essa carga possui menor intensidade se comparada à análise que fizemos sobre o entendimento dos estudantes sobre circuitos elétricos, pois na construção desses modelos, nos baseamos nas teorias que foram desenvolvidas ao longo da história para falar da luz e encontramos nas respostas dos estudantes uma declaração explícita dos termos e idéias presentes nessas teorias.

Em algumas respostas dos estudantes encontramos dificuldades para classificá-las em um modelo específico, pois diferentes concepções foram identificadas ou usaram termos inadequados ao explicitar seu entendimento, dando a essas respostas margem para mais de uma interpretação. Por exemplo, o estudante A173 no segundo momento de aplicação do instrumento responde:

*“A luz é uma onda eletromagnética e como tal, se propaga no vácuo com velocidade de 300000 km/s. Tem propriedades como refração e reflexão, explicadas antigamente considerando a luz como partícula, depois foram explicadas tomando a luz como onda. Hoje ela é considerada ora onda, ora partícula e apresenta propriedades diferentes para cada tipo. Sendo a luz onda temos a maioria de suas propriedades: reflexão, refração, difração, interferência. Sendo ela partícula temos o efeito fotoelétrico.”*

Ao iniciar o texto ele define a luz como sendo uma onda eletromagnética, resposta típica do modelo 4. Mas, posteriormente, ele reconhece a existência de duas teorias para falar da luz apresentando corretamente as duas teorias em termos do princípio da complementaridade de Bohr, por isso, esse trecho consideramos como sendo típico do modelo 5. Como não incluímos em nosso sistema categórico, uma categoria do tipo “modelo misto” essa resposta foi classificada como pertencente ao modelo 4, resolvemos considerar a sua primeira declaração como indício de seu entendimento, já que no restante do texto ele tenta fazer uma reconstituição histórica da evolução dos modelos da luz.

Apesar da dúvida em categorizar algumas respostas, outras exprimem muito bem os modelos identificados nesse estudo. Por exemplo, o estudante A 179 dá a seguinte resposta para a questão: *“A luz é necessário para a sobrevivência dos seres vivos e utilizados 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 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 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 somente a luz branca e chama atenção para um importante fenômeno associada a ela que é a dispersão.

Já para o estudante A179, no segundo momento de medida, *“A luz é constituída de partículas que nos fornece energia, para que sejam visualizadas as coisas (...)”*. Apesar do estudante 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 na evolução desses modelos. Enquanto na categoria 2 o modelo corpuscular se aproxima dos 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. Da

mesma forma, em relação ao modelo ondulatório descrito na categoria 2 que se aproxima do modelo proposto por Huygens também no século XVII, já na categoria 4 o modelo ondulatório pertence a teoria eletromagnética desenvolvida 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  $3 \times 10^8$  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 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 inclui 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 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 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. Os textos construídos pelos estudantes A193 e A220 exemplificam 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).*

*“A luz pode se comportar como corpúsculo ou como onda. Em fenômenos como o efeito fotoelétrico a luz como corpúsculo composta de fótons, que possuem uma unidade mínima de energia. Já em fenômenos como a refração ela se comporta como onda, pois sua velocidade depende da frequência.” (A220).*

Na resposta do estudante A193 encontramos elementos de erro quando ele considera a luz sendo constituída de elétrons para definir seu comportamento corpuscular, já o estudante A220 apesar de explicitar de forma acurada o caráter corpuscular da luz, ele não se refere ao modelo ondulatório proposto pela teoria eletromagnética de Maxwell.

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. 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 mantém comportamento corpuscular ou é constituída por fótons, sendo esse o modelo mais freqüente. Vejamos algumas respostas que ilustram respectivamente essas variações dos “modelos híbridos”:

*“A luz é constituída de fótons, que possuem uma característica dual, ou seja, eles comportam como corpúsculo, explicada pelo efeito fotoelétrico, e como onda eletromagnética, explicado pela sua alta velocidade no vácuo.” (A142).*

*“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 pacotinhos de energia que, por exemplo, ao atingirem um elétron esse passa a um nível maior de energia.” (A147)*

*“A luz é ao mesmo tempo uma onda eletromagnética que é constituída de partículas, chamadas fótons.” (A101)*

### **3.4-Análise quantitativa**

Os dados referentes à concentração dos estudantes, nos dois momentos de medida, em cada um dos modelos sobre a física envolvida no funcionamento de circuitos elétrico e sobre a natureza da luz, foram organizados em uma tabela de dupla entrada. Nessa tabela além da possibilidade de verificar a concentração de alunos em cada um dos modelos identificados, pudemos analisar as movimentações dos alunos entre o primeiro e o segundo momento de aplicação do instrumento.

A organização dos nossos dados em uma tabela de dupla entrada, permitiu que eles fossem modelados quantitativamente, através de um teste estatístico adequado, para verificar

os reais efeitos de aprendizagem dos estudantes, medidos através da evolução dos seus modelos entre as duas ocasiões de medida. No próximo tópico fazemos uma pequena discussão sobre a utilidade dos testes estatísticos nas pesquisas sociais e justificamos a nossa escolha para o teste utilizado no nosso estudo.

### **3.4.1-Testes estatísticos**

Os testes estatísticos são utilizados pelos pesquisadores na tentativa de auxiliar na análise da relação entre variáveis que são características que são medidas, controladas ou manipuladas em uma pesquisa. Nessa pesquisa especificamente, testes estatísticos foram utilizados para verificar a aprendizagem ocorrida que foi evidenciada através das diferenças nos totais marginais das tabelas de dupla entrada descritas anteriormente.

Os testes 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 numérico, que depende tipo da estatística utilizada, a probabilidade das diferenças acontecerem por mero acaso. Esse valor numérico é conhecido como a significância estatística.

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 ocorrem ao acaso, do contrário as diferenças são atribuídas a variável testada. Geralmente o valor crítico de significância fica em torno de 5% ( $\alpha=0,05$ ).

A escolha do teste estatístico para análise dos dados deve levar em consideração a sua adequação com as variáveis construídas no seu estudo. Existem tipicamente 4 tipos de variáveis:

- **Variável nominal** refere-se a uma escala, na qual os dados são organizados em categorias e são apresentadas as características de cada uma delas sem atribuir relação entre elas. O sistema de categoria de cores, sexo, religião são exemplos desse tipo de medida. Ao utilizar algum código numérico, este não possui nenhum significado numérico.
- **Variável ordinal** refere-se a uma escala, na qual os dados são organizados em um sistema categórico que além de apresentar as características de cada uma das categorias também as apresentam com alguma ordem inerente. Nesse caso, uma categoria pode ser “maior” ou “menor” do que outra. Por exemplo, os conceitos A, B, C ou D utilizados tradicionalmente para classificar o desempenho dos estudantes. Um estudante que obteve um conceito A alcançou um rendimento melhor que o estudante que obteve um conceito B.
- **Variável intervalar** refere-se a uma escala onde podemos determinar diferenças entre valores nessa escala. As diferenças existentes nessa escala são significativas. Por exemplo, quando medimos a temperatura em graus Celsius podemos identificar não só a ordem de valores das temperaturas como também as diferenças entre esses valores.
- **Variável numérica de razões** refere-se a dados que são organizados em uma escala métrica. Nessa escala o zero absoluto é significativo. Isso significa que você pode criar uma razão significativa com esse tipo de medida. Pode remeter a escalas de valores discretos como, por exemplo, número de clientes atendidos por um médico em um determinado período ou pode se referir a razões contínuas onde um resultado é um valor fracionado como  $\frac{1}{2}$ , por exemplo, a medida da altura de uma pessoa.

Nessa pesquisa os nossos dados foram organizados em um sistema categórico que possui um caráter ordinal. Durante a apresentação da análise qualitativa na seção anterior, ao

apresentarmos as categorias sobre circuitos elétricos e sobre a natureza da luz, justificamos a ordem atribuída às categorias do nosso sistema categórico. Dessa forma, a maneira como organizamos nossos dados (os dados organizados na tabela de dupla entrada relativos à concentração de estudantes em cada um dos modelos mobilizados nas duas ocasiões de medida) na tentativa de interpretar a significância estatística existente nas mudanças dos modelos mobilizados pelos estudantes nas duas ocasiões de medida, nos permitiu lançar mão do teste de homogeneidade marginal. No próximo tópico, fazemos uma pequena descrição deste teste.

#### *3.4.1.1-Teste de homogeneidade marginal*

Um teste que nós utilizamos, com o intuito de verificar se houve uma aprendizagem dos estudantes, medida pela diferença dos modelos explicativos mobilizados pelos estudantes nos dois momentos de medida, é o teste de homogeneidade marginal. Esse teste é uma generalização do teste McNemar para o caso multinomial e é adequado para testar a homogeneidade marginal em categorias multinomiais e ordenadas (AGRESTI, 2002, cap.10.) e ele 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.

O teste é aplicável em situações de medidas repetidas com categorias ordenadas, correspondendo à metodologia utilizada nesse trabalho. Ele determina a razão com que as mudanças ocorridas no sujeito entre as diferentes ocasiões de teste, interferem nas variações existentes entre as duas medidas. No nosso trabalho, as variações entre as duas ocasiões de testagem são verificadas nas diferenças entre os totais marginais da tabela de dupla entrada, que nesse caso corresponde ao número de estudantes que se encontra em cada um dos modelos em cada um dos momentos de medida. As mudanças ocorridas nos sujeitos nesse

estudo podem ser explicadas pelo possível efeito de aprendizagem dos estudantes durante o reestudo das temáticas que abarcam essa pesquisa no terceiro nível do currículo recursivo.

## **4-Resultados**

Consideramos a evolução (estatisticamente significativa) do entendimento dos estudantes como indício de aprendizagem e conseqüentemente como uma possível influência do ambiente de aprendizagem projetado, pois, partimos do princípio que se o estudante utiliza modelos mais sofisticados para explicar o mesmo fenômeno em um momento posterior a experiência de aprendizagem pelo qual ele foi submetido, essa mudança pode ser explicada pelas experiências que ele vivenciou naquele período.

### **4.1-Mudança nos modelos sobre circuitos elétricos**

As características dos modelos e sub-modelos sobre circuitos elétricos foram descritos minuciosamente no quadro 1, apesar de fazer a categorização fina das respostas dos estudantes levando em consideração os sub-modelos, decidimos por interpretar as respostas dos estudantes utilizando os quatro modelos propostos anteriormente. Se considerássemos todos os sub-modelos, teríamos uma tabela de contingência 8 x 8 com 64 células e muitas delas estariam vazias. Segundo JORESKOG (2006) isso influenciaria no valor da região de cobertura<sup>14</sup>, que é determinada pela razão entre o número dos distintos padrões de resposta, que podem existir em toda a amostra, pelo número de todos os possíveis padrões de resposta. Uma diminuição do número de possíveis padrões de resposta pode ser feita através da redução do número de categorias, que segundo esse tratamento estatístico, aumentaria a qualidade da nossa análise estatística.

Como descrevemos anteriormente, os dados foram organizados em uma tabela de dupla entrada. Na tabela 1, apresentamos os resultados do cruzamento entre os modelos

---

<sup>14</sup> A região de cobertura determina a qualidade da análise estatística. O aumento dessa região de cobertura possibilita uma melhor representação do conjunto de possíveis padrões de respostas e, dessa forma aumenta-se a qualidade da análise estatística.

utilizados pelos estudantes nos dois momentos de medida. 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 testagem. As células sombreadas representam a quantidade de alunos que continuaram a mobilizar os mesmos modelos nas duas ocasiões de medida. As células que se encontram acima da diagonal, representam a quantidade de alunos 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.

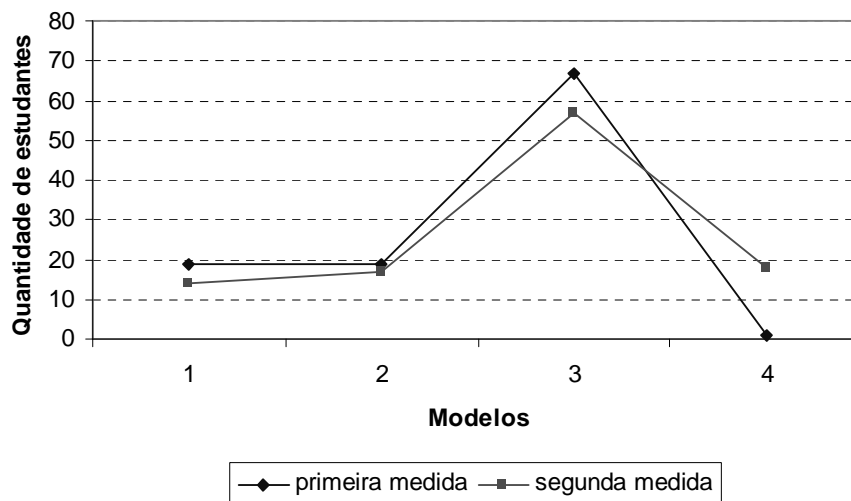
**Tabela 1-Modelos de circuito elétrico utilizados pelos estudantes na primeira aplicação versus modelos utilizados na segunda aplicação**

	<b>Segunda aplicação</b>				
Primeira aplicação	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	<i>Total</i>
Modelo 1	9	3	7	0	<b>19</b>
Modelo 2	3	9	4	3	<b>19</b>
Modelo 3	2	5	46	14	<b>67</b>
Modelo 4	0	0	0	1	<b>1</b>
<i>Total</i>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>57</b>	<b>18</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 ocorreram movimentações 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,  $p= 0,0003$  e, portanto  $p < 0,05$ .

O progresso que ocorreu nos modelos utilizados pelos estudantes, pode ser melhor visualizado através do gráfico 1 que exibe um padrão da concentração de alunos em cada um dos modelos nos dois momentos de medida.

**Gráfico 1: Concentração de estudantes em cada modelo de circuito elétrico nos dois momentos de aplicação para toda a população testada.**



Na primeira medida, percebemos que grande parte dos estudantes, cerca de 64% deles, lançam mão de modelos mais sofisticados para explicar o fenômeno proposto. Vale lembrar que nesse primeiro momento os estudantes não tinham reestudado o conteúdo de eletricidade na terceira série, mas já haviam estudado o assunto nas séries anteriores. Esses resultados nos mostram que a maioria dos estudantes possui alto conhecimento prévio sobre eletricidade, que foram adquiridos em suas experiências anteriores com o tema.

Fazendo uma análise mais sistemática, podemos perceber que grande parte dos estudantes que utilizavam o modelo 3 na primeira aplicação, continuaram a utilizar esse modelo em suas explicações. Dos alunos que utilizaram outros modelos na segunda ocasião de medida, poucos regressaram em direção aos modelos 1 ou 2 correspondendo apenas a cerca de 7% dos estudantes. Por outro lado, um número expressivo de estudantes tendeu a utilizar o modelo mais acurado que o modelo 3 no segundo momento de medida, trocando o modelo baseado na movimentação de elétrons livres quando submetidos a uma diferença de potencial estabelecida pela fonte, para o modelo 4, baseado na noção de campo elétrico que se estabelecia ao longo do circuito.

Quanto aos 19 estudantes que utilizavam o modelo de eletricidade como fluxo (modelo1) 9 continuaram com o mesmo modelo e 10 progrediram em seus modelos sendo que



3 utilizaram o modelo de corrente elétrica como cargas em movimento e 7 utilizaram o modelo baseado no surgimento da corrente elétrica no circuito, quando submetidos a uma diferença de potencial estabelecida pela fonte.

Dos estudantes que utilizam o modelo de cargas em movimento na primeira aplicação, 9 permanecem com mesmo modelo e 3 utilizaram o modelo de eletricidade como fluxo. Mas 7 estudantes evoluíram em seus modelos, sendo que 4 passam utilizar o modelo da diferença de potencial como responsável pelo surgimento da corrente elétrica no circuito e 3 utilizam o modelo microscópico.

Quanto ao modelo microscópico, o modelo mais acurado e próximo da concepção científica, na primeira aplicação tinha apenas um estudante que o mobilizou em suas explicações. No segundo momento, encontramos 18 estudantes que lançaram mão desse modelo. Esse modelo envolve concepções mais abstratas, como as existentes na noção de campo elétrico, de difícil compreensão por parte dos estudantes.

#### 4.1.1-Analisando as mudanças nos modelos dos estudantes nas diferentes turmas

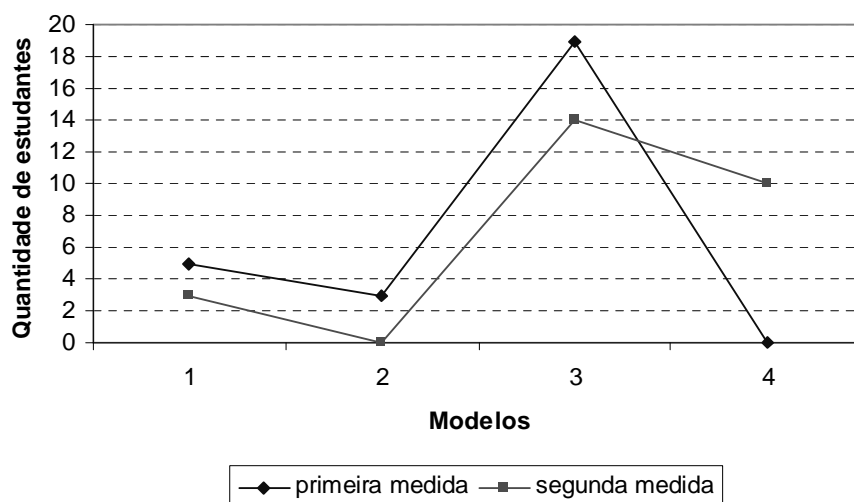
O procedimento de análise que foi feito para verificar se houve mudança nos modelos explicativos da população total dos estudantes e o teste para medir a significância estatística dessas mudanças, foi utilizado para analisar os dados das diversas turmas onde os estudantes analisados se distribuam.

**Tabela 2-Modelos de circuito elétrico utilizados pelos estudantes na primeira aplicação versus modelos utilizados na segunda aplicação para as turmas EMT de Eletrônica**

Primeira aplicação	Segunda aplicação				<i>Total</i>
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	
Modelo 1	2	0	3	0	<b>5</b>
Modelo 2	0	0	0	3	<b>3</b>
Modelo 3	1	0	11	7	<b>19</b>
Modelo 4	0	0	0	0	<b>0</b>
<i>Total</i>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>27</b>

No caso dos estudantes da turma EMT de eletrônica, o teste de homogeneidade marginal indica que a mudança que eles tiveram em seus modelos foi significativa ( $p=0,002$ ;  $p<0,05$ ). O gráfico 2, permite uma melhor visualização do padrão evolutivo dos modelos explicativos dos estudantes dessa turma. É notável a evolução dos estudantes em direção ao modelo 4, que é o modelo mais acurado do nosso sistema categórico. Como podemos verificar na tabela 2, dos 27 estudantes que foram testados, 13 progrediram em seus modelos e 13 continuaram a utilizar o mesmo modelo. Desses 13 alunos que progrediram 10 utilizaram o modelo 4 em suas explicações na segunda ocasião de medida. As características dessa turma contribuem para a interpretação dos progressos alcançados pelos seus estudantes, por se tratar de uma turma vocacionada para o estudo da física. Consideramos também que fora do ambiente da sala de aula de física, nas outras disciplinas de seu curso técnico, os estudantes dessa turma lidam com circuitos elétricos em uma abordagem microscópica, para explicar os processos de condução elétrica em dispositivos semicondutores e com noções de campo elétrico e magnético ao estudarem a propagação de sinais de telecomunicações.

**Gráfico 2: Concentração de estudantes em cada um dos modelos de circuito elétrico nos dois momentos de aplicação para a turma EMT de Eletrônica .**

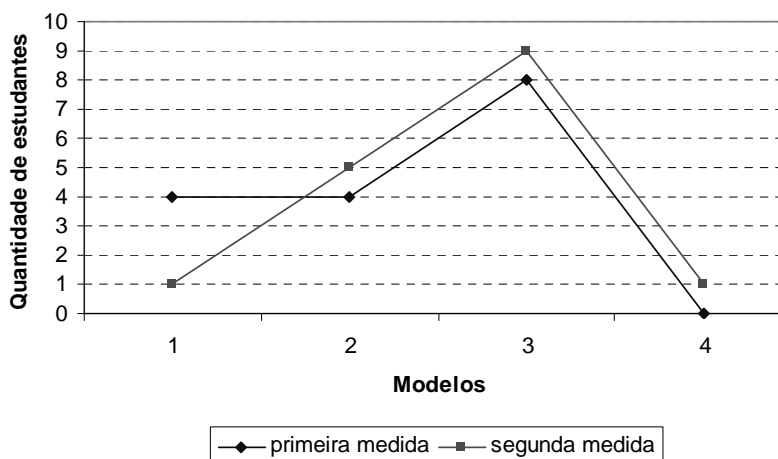


**Tabela 3-Modelos de circuito elétrico utilizados pelos estudantes na primeira aplicação versus modelos utilizados na segunda aplicação para as turmas EMT de Patologia Clínica**

Primeira aplicação	Segunda aplicação				<i>Total</i>
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	
Modelo 1	1	1	2	0	<b>4</b>
Modelo 2	0	2	2	0	<b>4</b>
Modelo 3	0	1	6	1	<b>8</b>
Modelo 4	0	0	0	0	<b>0</b>
<i>Total</i>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>16</b>

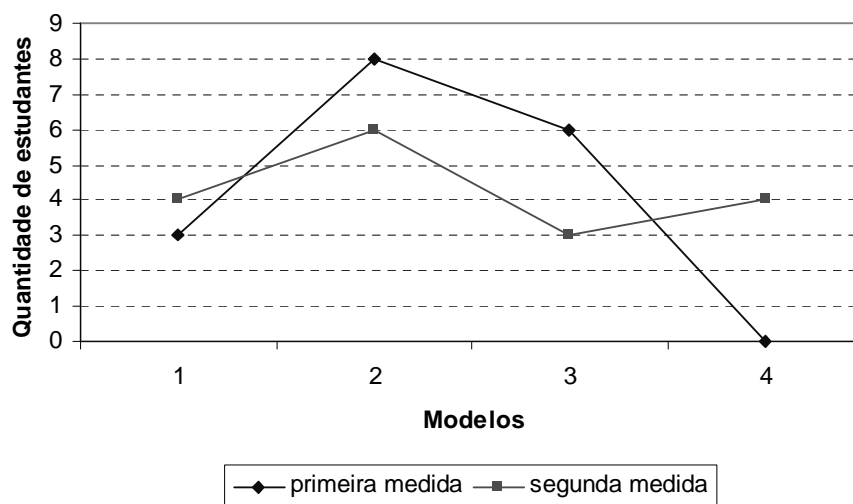
Na tabela 3 apresentamos o resultado da análise para a turma EMT de patologia clínica. Para essa turma, também encontramos um progresso significativo nos modelos dos estudantes ( $p=0,04$ ;  $p<0,05$ ). Esse progresso é diferente se comparado à turma de eletrônica, pois os estudantes que utilizavam modelos menos sofisticados na primeira ocasião de medida mobilizavam, em sua maioria, na segunda ocasião de medida, o modelo baseado na movimentação de elétrons livres quando submetidos a uma diferença de potencial estabelecida pela fonte (modelo 3). Já na turma de eletrônica, como descrevemos anteriormente, encontramos uma movimentação dos estudantes em direção ao modelo 4. Isso mostra que apesar dessa turma ser tradicionalmente pouco vocacionada para o estudo da física progrediu, mas alcançou um patamar que geralmente é alcançado pela maioria dos estudantes ao final da terceira série do ensino médio. O gráfico 3, apresenta o perfil evolutivo dessa turma.

**Gráfico 3: Concentração de estudantes em cada um dos modelos de circuito elétrico nos dois momentos de aplicação para a turma EMT de Patologia Clínica .**



No gráfico 4, apresentamos as diferenças entre os modelos dos estudantes nas duas ocasiões de testagem para a turma de ensino médio (EM), que é tradicionalmente a menos vocacionada para o estudo da física, ou seja, os estudantes resolvem as tarefas propostas, mas não se engajam para entender idéias mais abstratas e conceitos mais difíceis. É perceptível o progresso de alguns estudantes para o modelo 4 ao reestudarem o tema eletricidade e também uma possível involução dos estudantes quando observamos a redução do número de estudantes que mobilizavam o modelo 3 em suas respostas no segundo momento de medida.

**Gráfico 4: Concentração de estudantes em cada um dos modelos de circuito elétrico nos dois momentos de aplicação para a turma de Ensino Médio (EM) .**



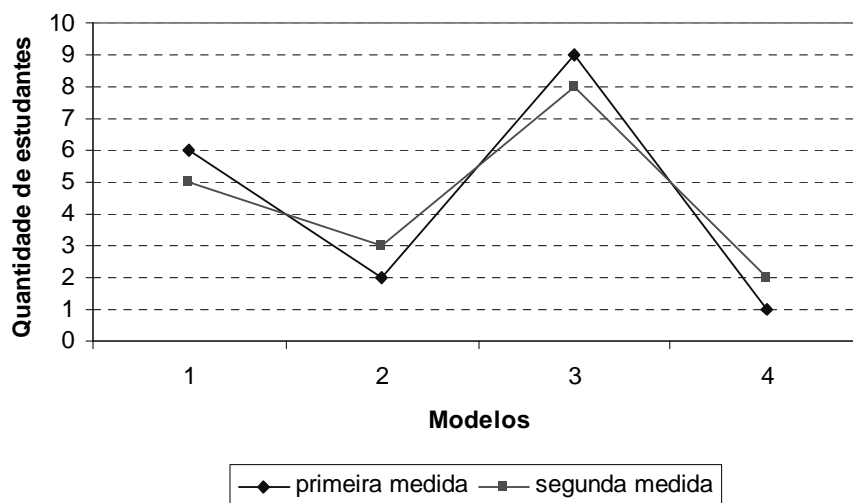
Mas ao analisar a tabela 4, podemos entender a redução dos estudantes concentrados no modelo 3, pois dos seis estudantes que progrediram, quatro evoluíram do modelo 3 para o modelo mais acurado do nosso sistema categórico, o modelo 4. Apenas dois estudantes realmente regrediram em seus modelos. Nessa turma, a maior parte dos estudantes (9 estudantes) continuaram a mobilizar o mesmo modelo nas duas ocasiões de medida e ao realizar nossa análise estatística, constatamos que as diferenças nos totais marginais não são significativas ( $p=0,11$ ;  $p>0,05$ ) portanto, as evoluções observadas nos modelos mobilizados pelos estudantes são melhores explicadas pelo acaso. Isso significa que para essa turma, não podemos justificar a evolução nos modelos dos estudantes como efeito de aprendizagem ao reestudarem o tema eletricidade no terceiro nível do currículo recursivo.

**Tabela 4-Modelos de circuito elétrico utilizados pelos estudantes na primeira aplicação versus modelos utilizados na segunda aplicação para as turmas de Ensino Médio (EM)**

Primeira aplicação	Segunda aplicação				<i>Total</i>
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	
Modelo 1	2	1	0	0	<b>3</b>
Modelo 2	2	5	1	0	<b>8</b>
Modelo 3	0	0	2	4	<b>6</b>
Modelo 4	0	0	0	0	<b>0</b>
<i>Total</i>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>17</b>

A tabela 5 refere-se aos resultados da turma EMT de instrumentação industrial. Para essa turma percebemos também que a maior parte dos estudantes (12 estudantes), utiliza os mesmos modelos nas duas ocasiões de testagem. Somente dois estudantes regrediram em seus modelos explicativos e outros quatro estudantes evoluíram em seus modelos. Apesar da evolução desses estudantes, não encontramos uma significância estatística para esses progressos ( $p=0,19$ ;  $p>0,05$ ) e as pequenas diferenças nos modelos dos estudantes entre as duas ocasiões de medidas, observadas através dos totais marginais da tabela 5, podem ser explicadas pelo acaso e não por um possível efeito de aprendizagem. Trata-se de uma turma, segundo os professores, apática, pouco engajada academicamente e pouco motivada a entender idéias mais complexas e abstratas como as que concernem o conteúdo de eletricidade. Apesar de estudarem circuitos elétricos nas disciplinas de seu curso técnico, a abordagem utilizada em tais disciplinas é macroscópica, baseada nas noções, corrente, tensão, resistência, noções que permitem aos estudantes explorar o comportamento de um circuito elétrico simples do ponto de vista fenomenológico na solução de problemas práticos. O gráfico 5 nos mostra o perfil das mudanças nos modelos para essa turma.

**Gráfico 5: Concentração de estudantes em cada um dos modelos de circuito elétrico nos dois momentos de aplicação para a turma de EMT de Instrumentação industrial .**

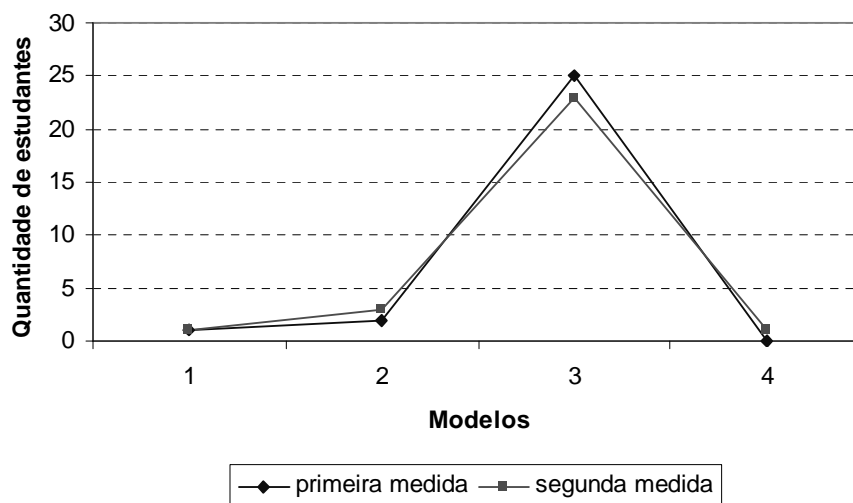


**Tabela 5-Modelos de circuito elétrico utilizados pelos estudantes na primeira aplicação versus modelos utilizados na segunda aplicação para as turmas de EMT de Instrumentação Industrial**

Primeira aplicação	Segunda aplicação				<i>Total</i>
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	
Modelo 1	4	1	1	0	<b>6</b>
Modelo 2	0	1	1	0	<b>2</b>
Modelo 3	1	1	6	1	<b>9</b>
Modelo 4	0	0	0	1	<b>1</b>
<i>Total</i>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>18</b>

O efeito mais controverso foi verificado na turma EMT de Química. Como podemos verificar no gráfico 6, as curvas referentes aos modelos mobilizados pelos estudantes nas duas ocasiões de medida, estão praticamente superpostas. Isso significa que não houve mudança significativa no entendimento dos estudantes dessa turma para esse tema apesar deles possuírem um alto conhecimento prévio sobre o tema eletricidade, que pode ser evidenciado pela maior parte dos estudantes (25 estudantes) utilizarem o modelo 3 em suas explicações ao iniciarem o curso na terceira série.

**Gráfico 6: Concentração de estudantes em cada um dos modelos de circuito elétrico nos dois momentos de aplicação para a turma de EMT de Química .**



Na tabela 6 apresentamos o resultado para a turma EMT de química. Dos 25 estudantes que utilizavam o modelo 3 no primeiro momento de medida, somente um estudante utilizou o modelo microscópico ao estudar novamente o tema eletricidade na terceira série do ensino médio. Estatisticamente temos uma grande chance das pequenas mudanças ocorridas entre os modelos utilizados pelos estudantes, terem ocorrido por mero acaso ( $p=0,25$ ;  $p>0,05$ ). Alguns aspectos culturais associados a essa turma ajudam a explicar parte desse efeito. Os estudantes dessa turma são os que possuem o melhor histórico escolar, ou seja, eles possuem bom desempenho em testes escritos, método de avaliação tradicionalmente utilizado na maioria das disciplinas dessa IFE, apesar disso, eles não possuem uma grande motivação e engajamento em relação à disciplina física.

**Tabela 6-Modelos de circuito elétrico utilizados pelos estudantes na primeira aplicação versus modelos utilizados na segunda aplicação para as turmas de EMT de Química.**

Primeira aplicação	Segunda aplicação				<i>Total</i>
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	
Modelo 1	0	0	1	0	<b>1</b>
Modelo 2	1	1	0	0	<b>2</b>
Modelo 3	0	2	22	1	<b>25</b>
Modelo 4	0	0	0	0	<b>0</b>
<i>Total</i>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>23</b>	<b>1</b>	<b>28</b>

## 4.2-Mudança dos modelos sobre a natureza da luz

As características dos modelos e sub-modelos sobre a natureza da luz foram descritos minuciosamente no quadro 2. Assim como fizemos na investigação anterior, quando analisamos as mudanças nos modelos dos estudantes sobre circuito elétrico simples, os dados foram organizados em uma tabela de dupla entrada. Também não incluímos os sub-modelos referentes a cada um dos modelos, durante a nossa análise e o argumento utilizado para não utilizar os sub-modelos é o mesmo que foi desenvolvido na investigação anterior (rever no início da seção 4.2 desse relatório de pesquisa). Na tabela 7 apresentamos os resultados do cruzamento entre os modelos utilizados pelos estudantes nos dois momentos de medida, para toda a população testada.

**Tabela 7: Modelos sobre a natureza da luz mobilizados pelos estudantes no primeiro momento versus modelos mobilizados no segundo momento de medida**

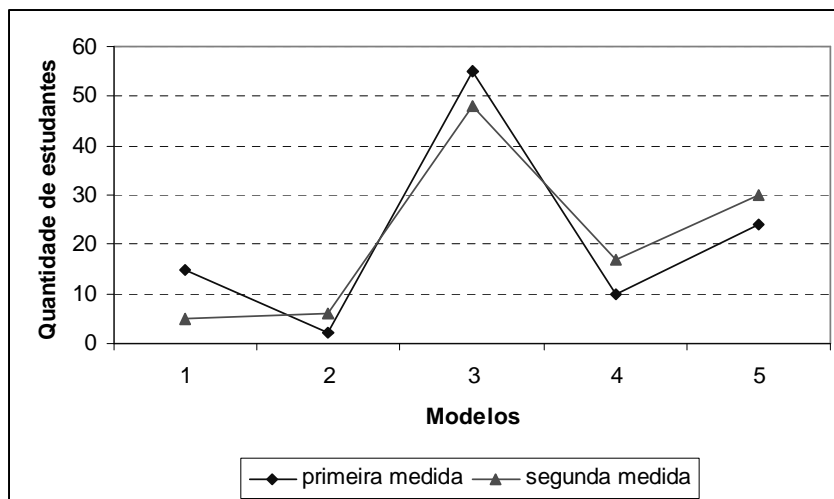
Primeira aplicação	Segunda aplicação					<i>Total</i>
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	
Modelo 1	4	3	3	5	0	<b>15</b>
Modelo 2	0	1	1	0	0	<b>2</b>
Modelo 3	1	1	32	6	15	<b>55</b>
Modelo 4	0	1	5	4	0	<b>10</b>
Modelo 5	0	0	7	2	15	<b>24</b>
<i>Total</i>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>48</b>	<b>17</b>	<b>30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

A primeira vista temos um indício que as experiências que os estudantes tiveram com o tema natureza da luz, na terceira série, foram significativas. Isso pode ser evidenciado pelas nos totais marginais da tabela 7, na qual percebemos uma movimentação dos estudantes dos modelos menos sofisticados na primeira aplicação do instrumento, 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  $p=0,002$  e 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 7 que exibe um padrão das mudanças dos modelos dos estudantes entre as duas ocasiões de medida.

**Gráfico 7: Quantidade de estudantes concentrados em cada um dos modelos sobre natureza da luz nos dois momentos de medida**



No primeiro momento de medida os estudantes têm 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 às dimensões dos modelos científicos. Destacamos também que dos 14 % dos estudantes (15 estudantes) mobilizaram o modelo primitivo no primeiro momento de medida, somente 4,7% (4 estudantes) continuaram a mobilizar esse modelo. Podemos interpretar essa informação, como um fator positivo em relação ao nível epistemológico dos estudantes por eles reconhecerem, mesmo com algumas inconsistências, que podemos falar sobre a luz através de modelos.

Apesar da evolução dos modelos 4 e 5 que correspondem às aceções 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 concepções alternativas em relação às teorias científicas. O

modelo 5 está associado a teoria que reconhece o comportamento dualístico da luz, teoria atualmente aceita pela Física e 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.

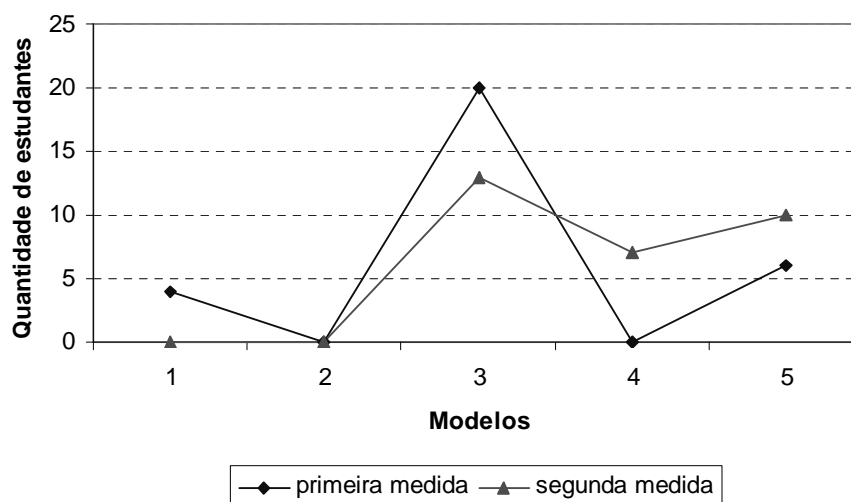
#### **4.2.1-Analisando as mudanças nos modelos dos estudantes nas diferentes turmas**

Na tabela 8, apresentamos o resultado para a turma EMT de eletrônica. No caso dessa turma, o teste de homogeneidade marginal indica que o progresso que os estudantes tiveram foi significativo ( $p=0,002$ ;  $p<0,05$ ). Na investigação anterior (quando investigamos o progresso dos estudantes nos modelos sobre circuitos elétricos) também encontramos uma mudança significativa nos modelos dos estudantes dessa turma. Como podemos verificar na tabela 8, dos 30 estudantes que foram testados nessa turma, 14 progrediram em seus modelos e 13 continuaram a utilizar o mesmo modelo no segundo momento de testagem. Desses 14 estudantes que progrediram, 13 passaram a utilizar os modelos com as acepções científicas associados aos modelos sobre a natureza da luz em suas explicações. O único estudante que evolui para o modelo 3, tinha mobilizado o modelo primitivo no primeiro momento de medida. Destacamos também que metade dos estudantes que utilizaram o modelo 3 em suas explicações no primeiro momento de medida, migraram para os modelos 4 e 5 na segunda ocasião, na qual não tivemos nenhum estudante utilizando os modelos 1 e 2, que são os modelos menos acurados do nosso sistema categórico. Vale ressaltar que essa turma, vocacionada para o estudo da Física, possui familiaridade não somente com o campo da eletricidade, mas com o campo da física em geral e por isso alcançam altas performances em seus desempenhos. O gráfico 8 mostra o perfil evolutivo dessa turma

**Tabela 8: Modelos sobre a natureza da luz utilizados pelos estudantes na primeira aplicação versus modelos utilizados na segunda aplicação para as turmas EMT de Eletrônica**

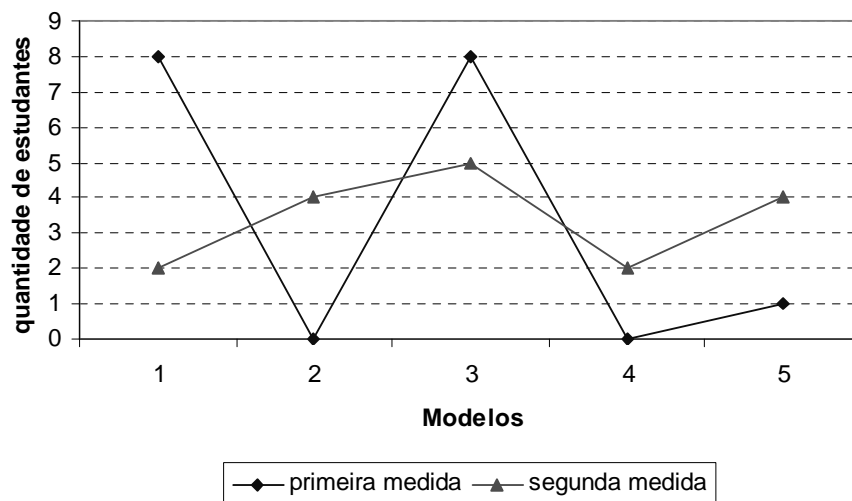
Primeira aplicação	Segunda aplicação					<i>Total</i>
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	
Modelo 1	0	0	1	3	0	<b>4</b>
Modelo 2	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Modelo 3	0	0	10	3	7	<b>20</b>
Modelo 4	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Modelo 5	0	0	2	1	3	<b>6</b>
<i>Total</i>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>30</b>

**Gráfico 8: Quantidade de estudantes concentrados em cada um dos modelos sobre a natureza da luz nos dois momentos de medida para a turma EMT de Eletrônica**



Na tabela 9 apresentamos os resultados para a turma de ensino médio (EM), apesar de essa turma ser tradicionalmente a menos vocacionada para o estudo da física, percebemos que as diferenças nos totais marginais são estatisticamente significativas ( $p=0,007$ ;  $p<0,05$ ). Um indício de um possível efeito de aprendizagem dos estudantes em relação às idéias associadas a natureza da luz. Através do gráfico 9, podemos perceber que o perfil evolutivo dessa turma se diferencia do perfil apresentado pela turma de eletrônica, principalmente ao que diz respeito aos modelos 1 e 2 mobilizados pelos estudantes dessa turma na segunda ocasião de medida.

**Gráfico 9: Quantidade de estudantes concentrados em cada um dos modelos sobre a natureza da luz nos dois momentos de medida para a turma de Ensino Médio (EM)**



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 medida. Reconhecemos também o aumento do número de estudantes que passou a mobilizar os modelos 4 e 5, ao reestudarem o tema natureza da luz ao terminar o curso de física no terceiro nível do currículo recursivo.

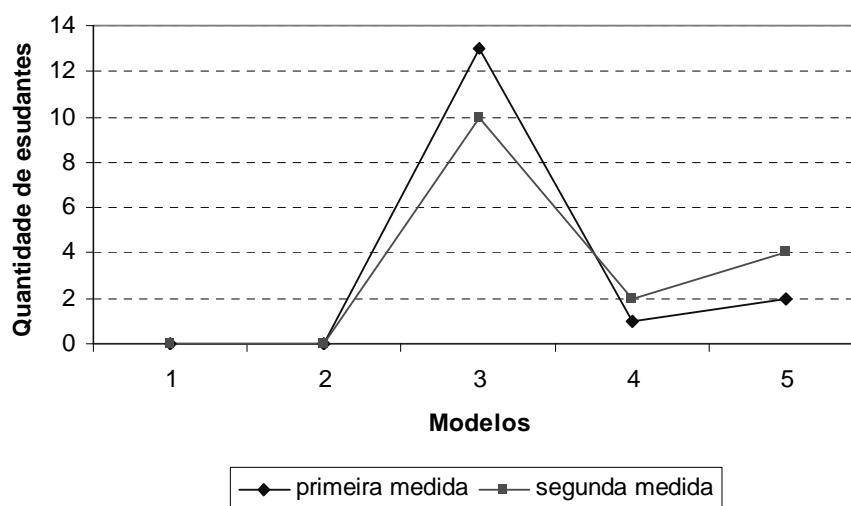
**Tabela 9: Modelos sobre a natureza da luz utilizados pelos estudantes na primeira aplicação versus modelos utilizados na segunda aplicação para a turma de Ensino Médio (EM)**

Primeira aplicação	Segunda aplicação					<i>Total</i>
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	
Modelo 1	1	3	2	2	0	<b>8</b>
Modelo 2	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Modelo 3	1	1	3	0	3	<b>8</b>
Modelo 4	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Modelo 5	0	0	0	0	1	<b>1</b>
<i>Total</i>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>17</b>

Na tabela 10 apresentamos o resultado da análise para a turma EMT de patologia clínica, que 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 concepções

alternativas desses modelos 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. Notamos pequenas diferenças entre os modelos utilizados pelos estudantes em suas respostas entre as duas ocasiões de testagem. Essas diferenças podem ser observadas no gráfico 10, no qual percebemos um pequeno aumento no número de estudantes mobilizando os modelos 4 e 5 na segunda ocasião de medida.

**Gráfico 10: Quantidade de estudantes concentrados em cada um dos modelos sobre a natureza da luz nos dois momentos de medida para a turma EMT de Patologia Clínica**



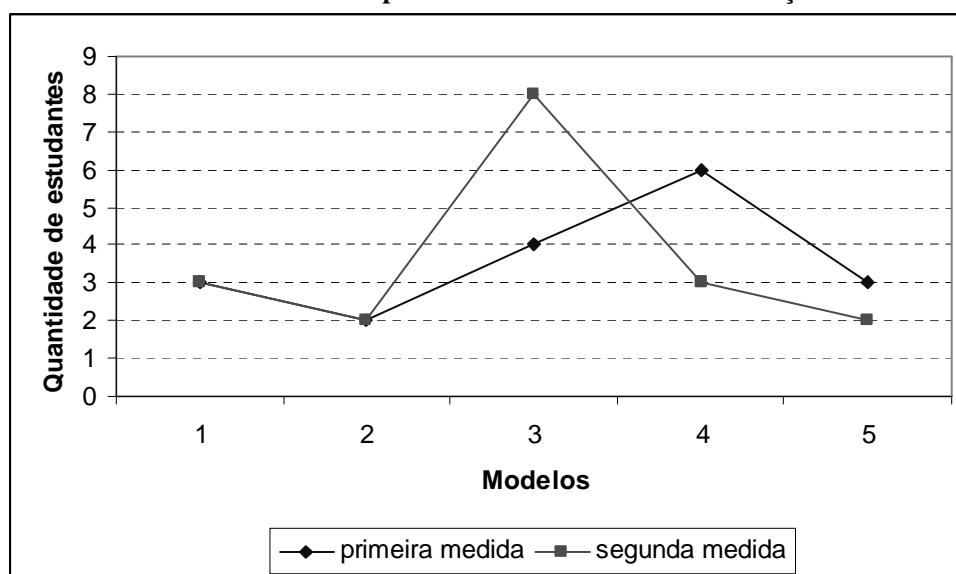
Apesar disso, ao realizar o teste de homogeneidade marginal, encontramos um valor estatisticamente não significativo ( $p=0,11$ ;  $p>0,05$ ) que nos permite dizer que as pequenas diferenças observadas nos modelos dos estudantes, entre as duas ocasiões de medida, são melhores explicadas pelo acaso, e que não podemos dizer que essa turma evoluiu em seus modelos a ponto de associarmos um possível efeito de aprendizagem do tema ao reestudarem esse assunto na terceira série.

**Tabela 10-Modelos sobre a natureza da luz utilizados pelos estudantes na primeira aplicação versus modelos utilizados na segunda aplicação para as turmas EMT de Patologia Clínica**

Primeira aplicação	Segunda aplicação					<i>Total</i>
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	
Modelo 1	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Modelo 2	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Modelo 3	0	0	8	2	3	<b>13</b>
Modelo 4	0	0	1	0	0	<b>1</b>
Modelo 5	0	0	1	0	1	<b>2</b>
<i>Total</i>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>16</b>

A tabela 11 refere-se aos resultados da turma EMT de instrumentação industrial. Para essa turma os estudantes que mobilizaram o modelo 1 para falar sobre o comportamento da luz no primeiro momento, continuaram a mobilizá-lo no segundo momento. 11 estudantes utilizaram os mesmos modelos em suas explicações nas duas ocasiões de testagem. Dos 7 estudantes que mudaram em seus modelos, 5 regrediram em suas explicações na segunda ocasião de medida, em que tivemos uma menor representatividade dos estudantes nos modelos 4 e 5. Encontramos uma representatividade dos estudantes, ao terminarem o curso de física na terceira série, utilizando o modelo 3. No gráfico 11, podemos observar um possível efeito controverso alcançado por essa turma, na qual os estudantes que mobilizavam os modelos 4 e 5 na segunda ocasião de medida diminuíram.

**Gráfico 11: Quantidade de estudantes concentrados em cada um dos modelos sobre a natureza da luz nos dois momentos de medida para a turma EMT de Instrumentação industrial**



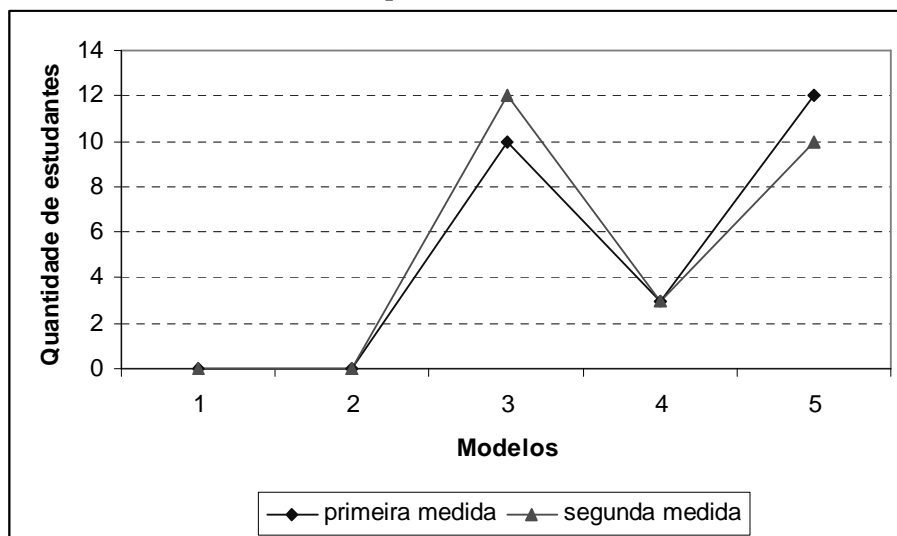
Certamente não podemos associar esse efeito como um indício que os alunos desaprenderam os conceitos associados a natureza da luz ao reestudarem esse tema, uma vez que não encontramos uma significância estatística ( $p=0,09; p>0,05$ ) para as diferenças encontradas nos modelos dos estudantes entre as duas ocasiões de medida e dessa forma, as involuções encontradas em seus modelos são melhores explicadas pelo acaso.

**Tabela 11-Modelos sobre natureza da luz utilizados pelos estudantes na primeira aplicação versus modelos utilizados na segunda aplicação para as turmas EMT de Instrumentação Industrial**

Primeira aplicação	Segunda aplicação					<i>Total</i>
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	
Modelo 1	3	0	0	0	0	<b>3</b>
Modelo 2	0	1	1	0	0	<b>2</b>
Modelo 3	0	0	3	1	0	<b>4</b>
Modelo 4	0	1	3	2	0	<b>6</b>
Modelo 5	0	0	1	0	2	<b>3</b>
<b><i>Total</i></b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>18</b>

Os resultados para a turma EMT de Química estão representados na tabela 12. Nas duas ocasiões de medida, os estudantes não mobilizaram o modelo primitivo em suas respostas e nem o modelo ondulatório e de partícula, descritos no modelo 2. Percebemos que ao iniciar o terceiro nível do currículo recursivo, grande parte dos estudantes mobilizava os modelos científicos associados à natureza da luz, com uma maior representatividade no modelo 5, associado ao modelo dual da luz. Apesar disso, não desconsideramos a mesma proporção de estudantes concentrados no modelo 3. Como podemos perceber, analisando os totais marginais da tabela 6 e analisando o gráfico 12, o padrão de resposta dos estudantes sofreu poucas mudanças entre as duas ocasiões de medida. Essas pequenas mudanças estão associadas a um pequeno deslocamento dos estudantes em direção ao modelo 3, mas esse pequeno deslocamento observado é melhor explicado pelo acaso, uma vez que encontramos um valor de  $p=0,11, p>0,05$ , portanto, não podemos associar nenhum processo regressivo nos modelos explicativos dos estudantes.

**Gráfico 12: Quantidade de estudantes concentrados em cada um dos modelos sobre a natureza da luz nos dois momentos de medida para a turma EMT de Química**



O reestudo do tema natureza da luz na terceira série teve pouco efeito nessa turma, pois grande parte dos estudantes não conseguiu progredir em seus modelos. Esse fato é possível de ser explicado, já que a maior parte dos estudantes apresentou, ao iniciar o curso de física no terceiro nível do currículo, um nível ótimo associado ao entendimento da natureza da luz, pois a maioria deles mobilizavam o modelo 5 em suas explicações. Dessa forma, a não progressão dessa turma não pode ser interpretada como efeito negativo associado ao ambiente de aprendizagem projetado, esse pode ser um indício que as experiências que eles tiveram com esse tema nas outras séries foram significativas.

**Tabela 12-Modelos sobre a natureza da luz utilizados pelos estudantes na primeira aplicação versus modelos utilizados na segunda aplicação para as turmas de EMT de Química.**

Primeira aplicação	Segunda aplicação					<i>Total</i>
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	
Modelo 1	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Modelo 2	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Modelo 3	0	0	7	0	3	<b>10</b>
Modelo 4	0	0	1	2	0	<b>3</b>
Modelo 5	0	0	4	1	7	<b>12</b>
<i>Total</i>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>25</b>



### **4.3-Patamar de entendimento dos estudantes ao encerrarem o terceiro nível do currículo recursivo**

#### **4.3.1- Prevendo a performance dos estudantes**

Nessa seção fazemos uma discussão sobre a performance esperada dos estudantes para o entendimento dos conceitos associados ao funcionamento de circuitos elétricos e sobre o seu entendimento referente a natureza da luz. A especulação em relação a performances, nessas temáticas, foi norteada pelos pressupostos de desenvolvimento cognitivo descritos na teoria de Biggs e Collis e também em alguns resultados de pesquisa presentes na literatura específica.

Analisando o nosso sistema categórico sobre circuitos elétricos, consideramos que os modelos 1 e 2 são menos sofisticados devido as explicações dos estudantes estarem baseadas em termos de entidades e estruturas mais simples e também estarem mais pautados em aspectos diretamente percebidos apresentando por isso, um raciocínio mais intuitivo para representar o conhecimento. Mas já no modelo 2, encontramos elementos mais abstratos em sua composição, como a idéia de fluxo de cargas estabelecida ao longo do circuito. Nesse nível, o estudante pode operar em modo mais sofisticado que esteja apoiado em uma representação concreta da realidade.

Os modelos 3 e 4 do nosso sistema categórico são mais sofisticados, neles os estudantes apresentam com maior propriedade o entendimento dos processos internos e mecanismos que produzem os efeitos observáveis, apesar de ainda utilizar elementos concretos derivados de sua experiência com o mundo cotidiano. As concepções referentes a esses modelos são apoiadas em idéias mais abstratas, que constituem o modo formal de representar o conhecimento sendo o modelo 4, o que possui o maior de abstração e também é o mais próximo das concepções científicas.

No trabalho de BORGES (1999) ao apresentar os dados do seu estudo, o autor dirigiu sua atenção na evolução dos modelos dos sujeitos investigados. Os resultados desse estudo mostraram que as seqüências dos modelos que foram identificados seguiam uma ordem e essa ordem estava associada ao aumento do conhecimento do sujeito em relação ao domínio investigado. Os trabalhos de OSBORNE (1983), SHIPSTONE (1984) e CEPNI e KELES (2006), sinalizam para a melhora no entendimento dos estudantes sobre circuito elétrico com a idade, pois nesses estudos, os estudantes mais velhos utilizavam a noção de conservação da corrente elétrica em suas respostas.

Os achados dos estudos descritos no parágrafo anterior nos permitem fazer a suposição de que se aplicássemos a questão sobre o funcionamento do circuito elétrico para crianças da quinta série do ensino fundamental, seria provável que eles teriam maior representatividade no modelo 1, uma vez que os estudantes nesse período não foram submetidos a uma instrução formal no campo da eletricidade e seu conhecimento seria representado em termos de sua experiência cotidiana nesse campo. Se aplicássemos a mesma questão para os estudantes ao final do ensino fundamental, a nossa suposição é de que eles possuiriam maior representatividade no modelo 2, pois nesse período tradicionalmente é introduzido o tema eletricidade na disciplina ciências, tema esse que vai ser explorado com maior acurácia no ensino médio.

Consideramos também o fato dos estudantes no início da escolarização formal até o final do ensino fundamental, ainda não possuem desenvolvido modos de operação adequados para lidar com uma lógica mais abstrata, exigida para entender os conceitos científicos associados ao funcionamento de circuitos elétricos simples. Como prevê a teoria dos estágios de Biggs e Collis, é por volta dos 14 anos, período, no qual, os estudantes regularmente estão finalizando o ensino fundamental, que se inicia o desenvolvimento do raciocínio hipotético dedutivo presente no modo formal de representar o conhecimento. Isso quer dizer que os

estudantes ao terminarem o ensino médio, já possuem em sua estrutura o raciocínio hipotético-dedutivo presente no modo formal de representar o conhecimento. Por isso, esperamos que os estudantes ao encerrarem o ensino médio estejam mobilizando os modelos 3 ou 4 em suas respostas, mas com uma forte tendência em direção ao modelo 4 que corresponde ao nível ótimo de desenvolvimento no domínio de circuito elétrico .

Até o momento apresentamos a nossa expectativa em relação à performance dos estudantes em relação ao entendimento sobre o funcionamento de circuito elétrico simples. A partir de agora apresentaremos nossa expectativa de desempenho dos estudantes, em relação à natureza da luz. 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 Smith<sup>15</sup>, (citado em DRIVER ET AL, 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 a noção dos modelos científicos para falar 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 da quinta série do ensino fundamental. Por isso, seria esperado que essas crianças mobilizassem os sub-modelos 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 aos processos associados ao fenômeno da visão. O fato das crianças no início da escolarização não terem contato formal no campo da óptica, possibilita que suas concepções sobre os fenômenos luminosos, sejam apoiadas em suas experiências cotidianas e atrelado a esse fato, as crianças nesse período operam no modo icônico e, portanto, suas explicações sejam baseadas na realidade diretamente observada ou percebida.

---

<sup>15</sup> Anderson, C.W.; Smith,E.L. (1983) children's conceptions of light and colour: developing the concept of unseen rays, artigo apresentado no encontro anual da AERA (American educational research Association), Montreal, Canada.

Os modelos sobre a natureza da luz, tradicionalmente são apresentados aos estudantes no ensino médio, e por isso, não esperamos que os estudantes tenham uma grande representatividade nos modelos 2, 3, 4 e 5 ao final do ensino fundamental. Esperamos que ao encerrar a terceira série do ensino médio, eles estejam mobilizando com maior representatividade os modelos 4 ou 5, com uma forte tendência de evolução para o modelo 5 que corresponde a categoria que apreende um entendimento mais acurado do estudante em relação a natureza da luz. Os modelos 4 e 5 abarcam as concepções científicas da luz e apresentam um conjunto de pressupostos teóricos e propriedades abstratas em sua estrutura. Para que o estudante consiga lidar com os aspectos abstratos associados a esses modelos é preciso que ele opere no modo formal de representação do conhecimento, modo de pensamento esse que no início do ensino médio o indivíduo já tem desenvolvido (como descrevemos anteriormente, esse modo surge por volta dos 14 anos de idade).

Em relação ao modelo 3 do nosso sistema categórico sobre a natureza da luz, é possível que na primeira série do ensino médio, encontremos uma grande representatividade dos estudantes o utilizando em suas explicações. Nesse modelo, os estudantes apresentam seu entendimento de forma parcialmente correta em relação aos modelos científicos ou consorciam idéias 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 cotidianas, com as informações adquiridas durante a instrução formal na sala de aula, no caso nas aulas de física.

A teoria na qual nos apoiamos para fazer nossas especulações é estritamente multimodal, significando que o desenvolvimento de um novo estágio de representação do conhecimento, não obstrui o funcionamento do estágio anterior. O desenvolvimento no modo de operar com um determinado conhecimento está associado a vários fatores que vão além da maturação física. BART (2004) aponta que, para o sujeito desenvolver o raciocínio mais

abstrato em um determinado conteúdo, é preciso que ele tenha domínio e familiaridade com esse conteúdo e esses dois fatores devem ser somados ao interesse do sujeito por esse conteúdo. Isso significa que, como prevê a teoria, o modo de pensamento formal não se generaliza automaticamente para todos os domínios de conhecimento, eles são influenciados por esses fatores que foram descritos anteriormente. Apesar da nossa expectativa de que os estudantes, ao final do ensino médio, operem nos modos mais abstratos de conceber o conhecimento, estamos cientes que podemos encontrar estudantes operando em níveis mais baixos nos domínios de conhecimento apresentados nessa pesquisa.

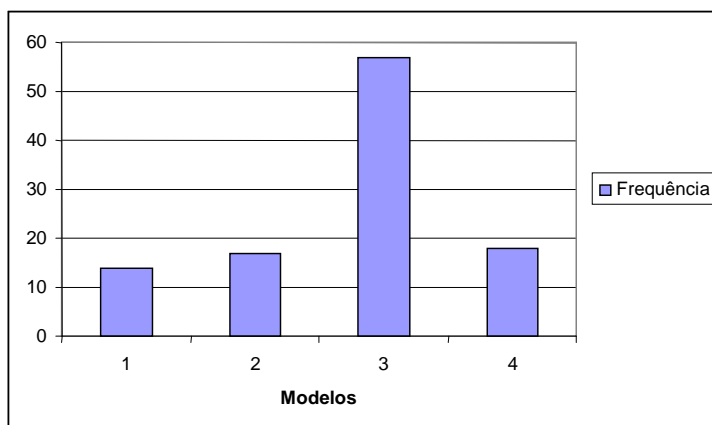
#### **4.3.2-Funcionamento de circuito elétrico simples**

Na tabela 13 e no gráfico 13, apresentamos a concentração dos estudantes em cada um dos modelos no segundo momento de medida. Percebemos que cerca de 54% dos estudantes estão mobilizando o modelo 3 ao finalizar o terceiro nível do currículo recursivo. Nesse modelo, o entendimento dos estudantes a cerca dos conceitos sobre o funcionamento do circuito elétrico simples, está em um nível maior de abstração em relação aos primeiros modelos.

**Tabela 13: Frequência dos modelos explicativos dos estudantes sobre circuito elétrico simples ao final da terceira série**

Circuito elétrico simples		
Modelo	Frequência	Porcentagem (%)
<b>1</b>	14	13,2
<b>2</b>	17	16,0
<b>3</b>	57	53,8
<b>4</b>	18	17,0
<b>Total</b>	106	100

**Gráfico 13: Frequência dos modelos explicativos dos estudantes sobre circuito elétrico simples ao final da terceira série**



No modelo 3, os estudantes tem maior representatividade no sub-modelo 3.1, ou seja, dos 57 estudantes que mobilizaram esse modelo, 36 deles (correspondendo a cerca de 63% dos estudantes no modelo 3) o utilizaram em suas respostas. A tabela 14 apresenta a frequência de estudantes em cada um dos sub-modelos correspondentes do modelo 3. Nesse nível os estudantes começam a lidar com entidades mais abstratas como a noção de diferença de potencial estabelecida pela fonte e reconhecem essa entidade física, como agente responsável pela corrente elétrica estabelecida no circuito através do “impulso” dado as cargas para fluírem ao longo do circuito.

**Tabela 14: Frequência dos sub-modelos do modelo 3 sobre circuito elétrico simples ao final da terceira série**

Modelo 3		
Sub-modelos	Frequência	Porcentagem(%)
1	36	63,2
2	14	24,6
3	7	12,3
<b>Total</b>	<b>57</b>	<b>100</b>

Entre os achados dessa pesquisa, também verificamos que nos três primeiros modelos sobre circuitos elétricos, ficou evidente a presença do raciocínio seqüencial utilizado pelos estudantes, para interpretar a situação física. Segundo essa lógica, os estudantes não interpretam o circuito como um sistema único, mas explicam o seu funcionamento em termos

do que acontece antes ou depois da passagem da corrente sobre um determinado ponto do circuito, dessa forma qualquer alteração no circuito produz alterações locais. Nas passagens utilizadas no capítulo 3 (seção 3.3.4.1), para exemplificar as respostas típicas dos estudantes, fica evidente esse tipo de raciocínio. Esse resultado está de acordo com o resultado de algumas pesquisas sobre entendimento dos estudantes sobre eletricidade. No trabalho de SHIPSTONE (1984), por exemplo, ele encontrou que aproximadamente 40% dos estudantes utilizam esse tipo de raciocínio em suas respostas, mesmo depois de completarem um curso avançado sobre circuitos elétricos ao final da escolarização básica.

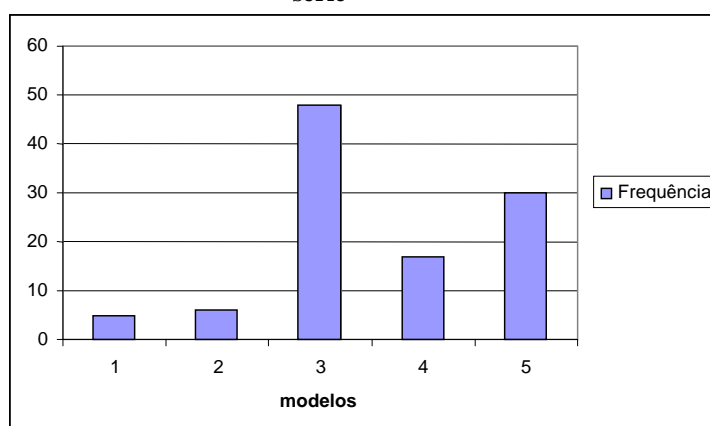
### 4.3.3-Natureza da luz

Na tabela 15 e no gráfico 14, apresentamos a concentração dos estudantes em cada um dos modelos sobre a natureza da luz ao encerrarem a terceira série.

**Tabela 15: Frequência dos modelos explicativos dos estudantes sobre a natureza da luz ao final da terceira série**

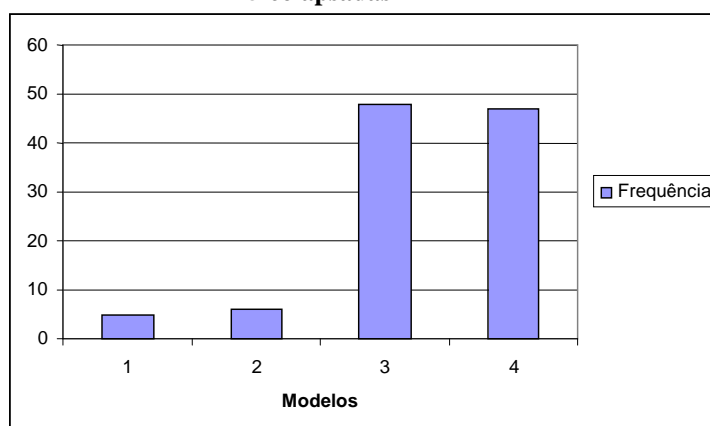
Natureza da luz		
Modelo	Frequência	Porcentagem (%)
1	5	4,7
2	6	5,7
3	48	45,3
4	17	16,0
5	30	28,3
<b>Total</b>	106	100,0

**Gráfico14: Frequência dos modelos explicativos dos estudantes sobre a natureza da luz ao final da terceira série**



No gráfico 14, apresentamos a frequência dos modelos mobilizados pelos estudantes nos cinco modelos. Ao realizar a análise gráfica, resolvemos colapsar os modelos 4 e 5 e interpretá-los em uma única categoria. Decidimos por esse procedimento, pois, os dois modelos abarcam as teorias científicas da luz, apesar de admitirmos uma hierárquica entre eles. No entanto, consideramos que o nível de entendimento dos estudantes que utilizaram o modelo 5 em suas explicações, seja mais acurado que o entendimento dos estudantes que apoiaram suas respostas nos pressupostos do modelo 4. O gráfico 15, apresenta a frequência dos modelos com as categorias 4 e 5 colapsadas, no qual o modelo 4, apresentado nesse gráfico, corresponde aos modelos 4 e 5 colapsados.

**Gráfico15: Frequência dos modelos sobre a natureza da luz ao final da terceira série com as categorias 4 e 5 colapsadas**



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 alternativas sobre os modelos científicos da luz, especialmente em relação ao modelo dual, no qual eles apresentam idéias híbridas presentes entre as duas teorias existentes para tratar o comportamento da luz, assim como SMIT E FIHEGOLD (1995) e HUBBER (2006) encontram em seus estudos.

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 idéias



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 desses modelos em relação ao modelo 3.

## 5- Conclusões

Nesse capítulo apresentaremos as conclusões dessa pesquisa, tentando responder a questão que nós propusemos inicialmente e aos objetivos imbricados a essa questão.

A questão que norteou essa pesquisa foi: *O modelo explicativo dos estudantes evolui, quando eles se deparam com um mesmo fenômeno em diferentes momentos?* E o nosso primeiro objetivo em responder essa questão era verificar através da evolução dos modelos explicativos dos estudantes, se o ambiente de aprendizagem projetado para o terceiro nível do currículo recursivo, conseguia promover o desenvolvimento conceitual dos estudantes. Posteriormente apresentamos as nossas reflexões sobre o patamar de entendimento alcançado pelos estudantes referentes aos conceitos sobre o funcionamento de circuitos elétricos simples e em relação à natureza da luz, ao encerrar o terceiro nível do currículo recursivo.

O último propósito dessa pesquisa estava associado à argumentação sobre como os nossos instrumentos qualitativos poderiam ser utilizados pelo professor para avaliar qualitativamente seu estudante. Nesse capítulo não retomaremos a essa discussão, o argumento foi apresentado na seção de referenciais teóricos (ver capítulo 2 na seção 2.4) e será retomado no último capítulo desse relatório de pesquisa, quando apresentamos as principais implicações dessa pesquisa.

### **5.1-O ambiente de aprendizagem consegue promover o desenvolvimento conceitual dos estudantes**

A nossa hipótese era de que se o estudante utilizasse modelos mais sofisticados para explicar o mesmo fenômeno em um momento posterior a experiência de aprendizagem pelo qual ele foi submetido, essa mudança poderia ser explicada pelas experiências que ele vivenciou naquele período. Os resultados apresentados nas duas investigações realizadas

nessa pesquisa nos mostram que houve progresso significativo dos modelos dos estudantes ao longo da série. Esse progresso significativo poderia ser tomado como indício de aprendizagem dos estudantes em relação aos temas abordados nessa pesquisa, devido as suas experiências no ambiente projetado para o curso de física, para o terceiro nível do currículo recursivo. No entanto, devemos ser cautelosos ao inferir que esse efeito evolutivo possa ser explicado por essas experiências, pois as turmas apresentaram desempenhos muito diferentes em relação aos progressos dos seus estudantes.

Apesar da cautela necessária em nossas inferências, podemos argumentar em favor do ambiente de aprendizagem da terceira série do ensino médio. Um argumento favorável a esse ambiente de aprendizagem, diz respeito a duas turmas que tradicionalmente são consideradas pouco vocacionadas para o estudo da física, que obtiveram progressos significativos, cada uma delas, em uma das investigações realizadas nessa pesquisa. Na investigação que realizamos para verificar o desenvolvimento no entendimento dos estudantes dos conceitos associados aos circuitos elétricos simples a turma EMT de patologia clínica, que possui poucas experiências com esses conceitos fora do ambiente da sala de aula de física, obtiveram progressos significativos em seus modelos explicativos. No caso da nossa investigação feita para verificar o progresso no entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz, a turma tradicionalmente considerada a menos vocacionada para o estudo da física, a turma de ensino médio (EM), alcançou progressos significativos em seus modelos sobre a natureza da luz. Assim como a turma EMT de patologia clínica julgamos que os estudantes da turma EM, também tinham pouco contato com esse tema fora do ambiente das aulas de física. Dessa forma, o progresso alcançado pelos estudantes dessas duas turmas, poderia ser explicado pelas experiências que eles tiveram ao reestudarem os temas pertencentes aos campos da eletricidade e da óptica e física moderna na terceira série do ensino médio.

Para a turma EMT de eletrônica, que tradicionalmente é considerada a mais vocacionada para o estudo da física, os estudantes obtiveram progressos em seus modelos nas duas investigações realizadas. O ambiente de aprendizagem projetado poderia explicar a evolução no entendimento desses estudantes sobre a natureza da luz, uma vez que os conceitos associados a essa temática, não são apresentados a esses estudantes em suas disciplinas do curso técnico, e por isso, consideramos que o contato com essa temática se deu somente no curso de física ministrado a eles. Mas em relação à evolução que os estudantes tiveram em seus entendimentos dos conceitos associados ao funcionamento do circuito elétrico simples, consideramos que as explicações para seus progressos vão além do ambiente de aprendizagem do curso de física. Isso porque os estudantes dessa turma, nas disciplinas de seu curso técnico, lidam com circuitos elétricos com uma abordagem microscópica, para explicar os processos de condução elétrica em dispositivos semicondutores e com as noções de campo elétrico e magnético ao estudarem a propagação de sinais de telecomunicações.

Apresentamos alguns argumentos favoráveis em direção ao ambiente projetado para o curso de física no terceiro nível do currículo recursivo. No entanto, temos indícios de que o currículo recursivo estruturado em três níveis parece ser benéfico para o desenvolvimento conceitual dos estudantes, visto que eles apresentavam um alto conhecimento prévio<sup>16</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 eletricidade e da óptica e física moderna nas séries anteriores, ou seja, nos outros níveis do currículo recursivo.

---

<sup>16</sup> O alto conhecimento prévio dos estudantes pode ser evidenciado, na investigação sobre o entendimento dos estudantes sobre os conceitos envolvidos no funcionamento de um circuito elétrico, devido a maior parte deles mobilizarem o modelo 3 em suas explicações ao iniciar a terceira série. Na investigação sobre a natureza da luz, os estudantes iniciam o curso de física utilizando o modelo 3 em suas respostas, no qual eles reconhecem a existência de modelos científicos para falar da luz mesmo que eles sejam entendidos de forma parcial ou apresentem inconsistências em suas explicações.

## **5.2-Patamar de entendimento dos estudantes ao encerrar o terceiro nível do currículo recursivo**

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 dos conceitos envolvidos nesse conteúdo. Reconhecemos também que é possível descrever, em termos de idades, alguns aspectos em relação à aprendizagem desses conceitos, aceitando que as concepções pré-instrucionais dos estudantes se desenvolvem para concepções mais sofisticadas, respeitando o modo de pensamento que o sujeito pode operar com o conhecimento em uma determinada fase da vida.

Ao encerrar o terceiro nível do currículo espiral, o entendimento dos estudantes sobre circuito elétrico simples, se encontra no nível<sup>17</sup> três, uma vez que a maioria dos estudantes mobilizaram em suas respostas o modelo 3 do nosso sistema categórico em suas explicações. A nossa expectativa era que os estudantes, para esse domínio de conhecimento, mobilizassem os modelos 3 ou 4. Os achados dessa investigação corresponderam as nossas expectativas iniciais em relação às performances dos estudantes para esse domínio. Contudo, uma vez que o conhecimento prévio dos estudantes (o conhecimento que eles possuíam ao iniciar o curso de física na terceira série) já se encontrava no nível 3 de entendimento, esperávamos encontrar uma maior representatividade dos estudantes no nível 4 ao final do curso, apesar da significativa evolução dos estudantes em direção ao modelo 4 depois de reestudarem o tema no terceiro nível do currículo recursivo.

Da mesma forma, 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

---

<sup>17</sup> Nessa seção, associamos os modelos que os estudantes utilizaram em suas respostas com patamar de entendimento que eles obtiveram nas temáticas investigadas nessa pesquisa, por isso passamos a nos referir a esses modelos como níveis de entendimento em relação ao conceito.

mobilizassem os modelos 4 ou 5 em suas respostas, por apresentarem os modelos científicos da natureza da luz, tratando-se de conhecimentos teóricos que apresentam um alto nível de abstração. Os resultados dessa investigação corresponderam parcialmente as nossas expectativas, pois, apesar de grande parte dos estudantes estarem no nível de entendimento 4 ou 5 ao final da terceira série, encontramos a mesma proporção de estudantes que se encontravam no nível 3. 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 idéias híbridas em relação ao comportamento dual da luz.

A maioria dos estudantes já iniciaram a terceira série utilizando o modelo 3 em suas respostas, significando que apesar das evoluções significativas que foram observadas no entendimento dos estudantes sobre o tema investigado, principalmente em direção ao modelo 5, não podemos desconsiderar a grande parcela dos estudantes que continuaram a mobilizar o modelo 3 ao encerrar a terceira série. Essa grande parcela de estudantes que continuam a apresentar variações dos modelos científicos sobre a natureza da luz em suas explicações, pode exemplificar o caráter resistivo associado as suas concepções alternativas.

A teoria de Biggs e Collis, a qual nos apoiamos para apresentar a nossa perspectiva de desenvolvimento conceitual e que norteou as nossas especulações em relação às performances dos estudantes, associadas aos modelos que eles poderiam operar em cada um dos domínios investigados, sugere que o conhecimento prévio dos estudantes é condição necessária para o desenvolvimento da aprendizagem do sujeito. Essa teoria também prevê que para ocorrer o desenvolvimento no entendimento e na forma de representar um determinado conceito, outros fatores que vão além de seus conhecimentos prévios e da maturação física devem ser considerados. Dentre esses fatores, destacamos os aspectos motivacionais e os aspectos relacionados ao engajamento do estudante em relação a um determinado domínio de conhecimento. Como foi apresentado nesse relatório de pesquisa, as turmas investigadas

apresentavam grandes diferenças em relação a esses aspectos, o que pode contribuir para explicar a pouca representatividade dos estudantes nos modelos mais acurados do nosso sistema categórico.

## **6-Implicações**

### **6.1-Implicações para a pesquisa acadêmica**

Novos estudos deverão ser realizados para verificar, com maior acurácia, a influência do ambiente de aprendizagem projetado para o curso de física para aquisição de modelos mais sofisticados por parte dos estudantes para explicar fenômenos e processos físicos. Manteremos um esforço em lançar mão de modelamentos estatísticos que sejam adequados para verificar a influência do ambiente de aprendizagem pautado na recursividade temática, para o desenvolvimento conceitual dos estudantes. Esse esforço para utilização de um suporte estatístico para analisar os nossos dados vem de encontro com o desenvolvimento de novos testes qualitativos como os que foram desenvolvidos nessa pesquisa para abranger outros conceitos importantes das principais áreas da física: eletricidade e magnetismo; ótica física e geométrica; ondas e som; termodinâmica. Esse conjunto de testes, associados a um modelo estatístico adequado para tratar os dados pode proporcionar a realização de estudos longitudinais para verificar os fatores que contribuem para o desenvolvimento da aprendizagem conceitual dos estudantes em diversos ambientes de aprendizagem.

Nessa pesquisa, analisamos as respostas dos estudantes em termos de um sistema de 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. A definição de hierarquia nas concepções dos estudantes é tarefa importante para traçar o curso de um desenvolvimento de um conceito ou dos princípios que determinam o seu desenvolvimento. Ao especularmos sobre a performance dos estudantes, levamos em consideração o nível de abstração em cada modelo e nos apoiamos em alguns resultados encontrados na literatura, por isso, consideramos que os modelos que compõe o nosso sistema categórico são culturalmente aprendidos nos diferentes momentos da escolarização do



estudante. Novos estudos devem ser realizados na tentativa de verificar empiricamente se a hierarquia postulada entre os modelos do nosso sistema categórico, segue realmente uma ordem de desenvolvimento conceitual.

## **6.2-Implicações para sala de aula**

Reforçamos o nosso argumento em favor da utilização dos testes qualitativos, que desenvolvemos nessa pesquisa para acessar o entendimento dos estudantes, como uma ferramenta para o professor acompanhar o desenvolvimento da aprendizagem em física dos seus estudantes. Consideramos que os modelos descritos no sistema categórico possam ser apreendidos com facilidade pelos professores, por se tratar de modelos culturalmente aprendidos pelos estudantes. Com os instrumentos qualitativos desenvolvidos nessa pesquisa e com os outros que pretendemos desenvolver sobre os outros campos da física, o professor poderá analisar em um determinado momento, qual nível de entendimento dos seus estudantes em um domínio específico da física e dependendo dos resultados dessas medidas, ele poderá agir de forma imediata em sua prática com intuito de promover uma melhor aprendizagem dos seus estudantes.

Constatamos que ao iniciar a terceira série do ensino médio, os estudantes iniciam o curso mobilizando o modelo macroscópico mais sofisticado relacionado ao funcionamento de um circuito elétrico simples. Trata-se do modelo 3 que apresenta um nível de abstração maior que os primeiros modelos na interpretação da situação física proposta. Alguns autores, como LIJNSEE (1995) acreditam que os modelos microscópicos dos processos físicos deveriam ser introduzidos depois que os modelos mais simples fossem bem dominados. A organização do currículo de física no ensino médio em três níveis de recursividade parece ser benéfica neste aspecto e com isso, reforçamos o argumento do ensino do campo da eletricidade na terceira série com maior nível de complexidade, focando a abordagem dos conceitos de uma forma

qualitativa e na interação entre os aspectos associados à eletrostática e eletrodinâmica possibilitando aos estudantes entender e mobilizar o modelo baseado na propagação de campo elétrico.

Como descrevemos nos resultados dessa pesquisa, ficou evidente a presença do raciocínio seqüencial dos estudantes que utilizavam os três primeiros modelos em suas respostas. Esse tipo de raciocínio constitui a figura concreta mais comum da corrente propagando em todo o circuito e submetido a algumas influências. Dessa forma, a busca de uma abordagem que evidencie a interação dos elementos que compõe circuito, poderia propiciar o desenvolvimento de um pensamento sistêmico nos estudantes para analisar o funcionamento do circuito elétrico. Esse pensamento sistêmico é essencial para entender a propagação do campo elétrico como agente responsável por alterações simultâneas em todos os pontos do circuito.

Apesar da evolução dos estudantes para os modelos cientificamente apropriados para falar sobre o comportamento da luz, especificamente a progressão dos estudantes em direção ao modelo dual da luz, 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 idéias presente nas duas teorias existentes para falar da luz (teoria eletromagnética e a teoria corpuscular com a hipótese do quantum de energia). Os livros textos de física, geralmente não deixam essa distinção muito clara 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. Uma outra possibilidade seria a inclusão no programa de física 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).

## 7-Referências Bibliográficas

ABIMBOLA, I.O. The problem of Terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education* 72(2),p.175-184, (1988)

AERA. Standards for Reporting on Empirical Social Science Research in AERA. *Educational Researcher*, vol. 35, nº8, p. 33 – 40, 2006.

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

AMANTES, A. O entendimento de estudantes do ensino médio sobre sistema de referência e movimento relativo. 2005. Dissertação (Mestrado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte,2005.

ASQUITH, I. SOLO Taxonomy as a possible tool for the qualitative assessment of students in Higher Education. Association for the study of evaluation in education in South Africa (ASEESA), Conference proceedings, p. 50-58, (s.d.). Disponível em [http://tutor.petech.ac.za/educsupport/art\\_6.htm](http://tutor.petech.ac.za/educsupport/art_6.htm). Acesso em março 2007.

AUSUBEL, D. P. *Educational Psychology, A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc.1968.

BART, W.M. A commentary on D.H. Feldman's essay on Piaget's stages. *New ideas in Psychology*, vol 22, p.233-237, 2004.

BIGGS, J. The psychology of educational assessment and the Hong Kong scene. *Bulletin of the Hong Kong Psychological Society*, Nos. 28/29,p.1-18,1992.

BORGES, A.T; BATISTA, L. M. Os modelos de crianças e adultos sobre eletricidade. Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, VII, Florianópolis,SC, 2000. IN. **Atas**

BORGES, A.T. Mental Models of Electromagnetism.1996.Doutorado (Doutorado em Educação) -Department of Science and Technology Education, Reading University, UK, 1996.

BORGES, A .T. Como evoluem os modelos mentais. *Revista ensaio*, Belo Horizonte, v.1, n.1, p. 85-125, 1999.

BORGES, O;COELHO, G.R.;JÚLIO, J.M. Efeitos de um ambiente de aprendizagem sobre o engajamento comportamental, o engajamento cognitivo e sobre a aprendizagem. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, V, Bauru, SP, 2005. IN. **Atas**

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.

CAMPBELL,B.;LAZONBY,J.;MILLAR,R.;NICOLSON,P.;RAMSDEN,J.;WADDINGTON, D. Science: The Salters' Approach a case study of the process of large scale curriculum development. *Science Education*, v. 78, n.5, p.415-447, 1994.

CAVALLO, A.M.L. Eliciting students understandings of chemical reactions using two forms of essay questions during a learning cycle. *International Journal of Science education*, v.25, n. 5, p.583-603, 2003.

CEPNI, S.;KELES, E. Turkish students conceptions about the simple electric circuits. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 4, p.269-291, 2006.

CLOSSET, J.L. Sequential reasoning in electricity, In: International Workshop of Research on Physics Education, 1, 26/06-13/07/83, La Londe lès Maures (FR). *Proceedings of the. First...* Paris: Editions CNRS, p.313-319, 1983.

COELHO, G.R.;BORGES,O. A evolução dos modelos sobre circuitos elétricos em um currículo recursivo. Encontro de Pesquisas em Ensino de Física, X, Londrina, PR, 2006. IN **Atas**

COLE, N.S. Conceptions of educational achievement. *Educational Researcher*, v.19, n.3, p.2-7, 1990.

COLLIS,K.F.;JONES,B.L.;SPROD,T.;WATSON, J.M.; FRASER,S.P. Mapping development in students understanding of vision using cognitive structural model. *International Journal of Science Education*, v. 20,n.1, p.45-66, 1998.

COSGROVE, M.; OSBORNE, R.J.; CARR, M. Children's intuitive ideas on electric current and the modification of those ideas. In Duit, R. *et al* (EDS) Aspects of Understanding Electricity. Kiel: Vertrieb Schmidt and Klauning, p.247-256, 1985.

DRIVER, R.; EASLEY, J. Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, v.12, p.7-15, 1978.

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

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

DUIT, R. *Conceptual change. Approaches in science education*. In W. Schnotz, S. Vosniadou and M. Carretero (eds.) *New Perspectives on Conceptual Change* (Oxford:Elsevier), 1999.

DUIT, R.;VON RHÖNECK,C. *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*, 1998. Edited by A. Tiberghien, E.L. Jossem and J. Barajos (International Commission on Physics Education), disponível em <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/C2.html>. Acesso em fevereiro 2007.

EL-HANI, C.N.; BIZZO, N.M.V. Formas de construtivismo: Mudança conceitual e perspectiva contextual, *Revista Ensaio*, v. 4, n.1, p.37-58, 2002.

FENSHAM, P.J. *Defining and identity: The evolution of science education as a field of research*. Kluwer Academic Publishers (1 ed), 2004.

FRASER, B.J. Learning environments research: Yesterday, today and tomorrow. In S.C. Goh & M.S. Khine (Eds.), *Studies in educational learning environments: An international perspective*. Singapore: World Scientific Publishers, 2002.

GENTNER, D.;GENTNER, D.R. Flowing waters or moving crowd: Mental models of electricity. In D. GENTNER and A. L. STEVENS (Eds.), *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, p. 99-130, 1983.

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. v4.

HAMEED, H; HACKLING, M.W.;GARNETT, P.J. Facilitating conceptual change in chemical equilibrium using a CAI strategy. *International Journal of Science Education*, v.15, n.2, p.221-230, 1993.

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

JOHNSON, P. The development of children's concept of a substance: A longitudinal study of interaction between curriculum and learning. *Research in Science Education*, v.35, p.41-61, 2005.

JORESKOG, K.G. Factor Analysis of ordinal variables with full information maximum likelihood, 2006. Disponível em [www.ssicentral.com/lisrel/techdocs/orfimpl.pdf](http://www.ssicentral.com/lisrel/techdocs/orfimpl.pdf). Acesso em julho de 2007.

KUHN, T.S. *The structure of scientific revolutions* (2ed.). Chicago: University of Chicago Press.

LEACH, J. A tribute to her contribution to research in science education. Artigo apresentado no IV European Science Education Summerschool,1998, Marly-le-Roi. Disponível em [www.education.leeds.ac.uk/research/cssme/rosalind\\_driver.pdf](http://www.education.leeds.ac.uk/research/cssme/rosalind_driver.pdf). Acesso em abril 2007

LEDERMAN, N.G.;ADB-EL-KHALICK, F.;BELL, R.L.;SCHWARTZ, R.S. Views of nature of science questionnaire: toward valid an meaningful assessment of learners conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, v.39, n. 6, 497-521, 2002.

LIJNSEE, P.L. Developmental research as a way to an empirically based didactical structure of science. *Science Education*, v.79, p.189-199, 1995.

MILLAR, R.;KING, T. Students' understanding of voltage in simple series electric circuits. *International Journal of Science Education*, v.15, n. 4, p.351-361, 1993.

MILLAR, R.;LIM BEH, K. Students' understanding of voltage in simple parallel electric circuits. *International Journal of Science Education*, v.15, n.4, p.351-361, 1993.

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

MULHALL, P.; MICKITTRICK, B.; GUNSTONE R. A perspective on the resolution of confusions in the teaching of electricity. *Research in Science education*, v.31, p.575-587, 2001.

ODOM, A.L.;BARROW, L.H. Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 32, p.45-61, 1995.

OSBORNE, R. Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technology Education*, v.1, n.1, p.73-82, 1983.

POSNER, G.J.; STRIKE, K.A.; HEWSON, P.W.; GERTZOG, W.A. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v.66, n.2, p.211-227, 1982.

POZO, J.I.; GÓMEZ CRESPO, M.A.;SANZ, A. When change does not mean replacement: different representations for different contexts. In W. Schnotz, S. Vosniadou and M. Carretero (eds.) *New Perspectives on Conceptual Change*, 1999. Oxford: Elsevier.

RAFTOPOULOS, A.;KALYFOMMATOU, N.;CONSTANTINO, C.P. The properties and the Nature of Light: The study of Newton's work and the Teaching of Optics. *Science e Education*, v.14, p.649-673, 2005.

ROWLANDS, S.;GRAHAM, T.;BERRY, J.;MCWILLIAM, P. Conceptual change Through the lens of Newtonian Mechanics. *Science e Education*, v.16, p.21-42, 2007.

SHIPSTONE, D M; GUNSTONE, R.F. Teaching children to discriminate between current and energy' in: Duit R et a (1 ed) *Aspects of' Understanding Electricity* (Kiel: Vertrieb Schmidt and Klaunig), 1985.

SHIPSTONE, D. M. A study of children's of understanding of electricity in simple D.C. circuits. *European Journal of Science Education*, v. 6, p.185-198, 1984.

SHIPSTONE, D.M. Pupils understanding of simple electrical circuits. *Physics Education*, v.23, p 92-96, 1988.

SHIPSTONE, D.M. Eletricidad en circuitos sencillos. In R.DRIVER, E.GUESNE; TIBERGHIE, A. (Eds), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Ediciones Morata (3ed), 1996.

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*, v.17, n.5, p.621-634, 1995.

SONG, J.; SOOK-KYOUNG, C.; BYUNG-HOON, C. Exploring the parallelism between change in student's conceptions and historical change in the concept of inertia. *Research in Science Education*, v.27, n.1, p.87-100, 1997.

SPINNER, H.; FRASER, B.J. Evaluation of an innovative mathematics program in terms of classroom environment, student attitudes, and conceptual development. *International Journal of Science and mathematics Education*, v.3, p.267-293, 2005.

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

STEIN, M.; BARMAN, C.; LARRABEE, T. What are they thinking? The development and use of an instrument that identifies common science misconceptions. *Journal of Science Teacher Education*, v.18, p.233-241, 2007.

TIBERGHIE, A.; DELACÔTE, G. Manipulations et représentations des circuits électriques simples chez les enfants de 7 à 12 ans. *Revue Française de Pédagogie*, v.34, p.32-34, 1976.

VAZ, A.; BORGES, A.T.; TALIM, S.; BORGES, O. INOVAR-Projeto de ensino: Reformulação Curricular do Curso de Física do COLTEC/UFMG, 2003.

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.