

O entendimento dos estudantes do terceiro nível de um currículo recursivo sobre circuito elétrico simples

The understanding of the students of the third level of a recursive curriculum on simple electrical circuit

Geide Rosa Coelho¹, Oto Borges²

1-UFMG/ Programa de Pós-Graduação em Educação: FAE / E.E. Ari da Franca/ geidecoelho@gmail.com

2- UFMG / Programa de Pós-Graduação em Educação: FAE /Colégio Técnico / oto@coltec.ufmg.br

Resumo

Relatamos um estudo no qual investigamos o patamar de entendimento dos estudantes, da terceira série do ensino médio, sobre a física envolvida no funcionamento de circuitos elétricos simples. Esse estudo foi realizado em um ambiente curricular no qual os conteúdos são organizados de forma recursiva e em espiral. Para avaliar o entendimento dos estudantes sobre essa temática, desenvolvemos um instrumento qualitativo e criamos um sistema categórico hierarquizado constituído de quatro modelos sobre circuito elétrico simples. O instrumento qualitativo se baseou na aplicação de uma questão envolvendo uma situação física sobre o funcionamento de um circuito elétrico simples. O mesmo instrumento foi aplicado em duas ocasiões distintas em um intervalo de 10 meses, dessa forma tivemos acesso ao entendimento dos estudantes ao iniciar e ao encerrar o terceiro nível de um currículo recursivo. Os resultados indicam que os estudantes possuem um alto conhecimento prévio e ao encerrar a terceira série eles possuem maior representatividade no modelo que reconhece a diferença de potencial de uma fonte como agente responsável pela corrente elétrica estabelecida no circuito. Destacamos também as significativas evoluções dos estudantes em direção ao modelo mais acurado do nosso sistema categórico.

Palavras-chave: Ensino de Física, currículo recursivo, modelos hierárquicos, entendimento conceitual, circuitos elétricos.

Abstrat

We report a study in which investigated the level of understanding of students', the third series of high school, on the physics involved in the operation of electrical

¹ Apoio CNPq

² Apoio CNPq

circuits simple. This study was performed in an environment in which the curricular content are organized in order recursive and spiral. To assess the understanding of the students on this theme, we have developed a qualitative instrument and created a categorical hierarchical system consists of four models on simple electrical circuit. The instrument was based on qualitative application of a question involving a physical situation on the operation of a simple electrical circuit. The same instrument was used on two different occasions in an interval of 10 months, thus had access to the understanding of students to initiate and terminate the third level of a curriculum recursive. The results indicate that students have a high prior knowledge and end the third series they have greater representation in the model that recognizes the difference in potential as a source agent responsible for the electrical current established in the circuit. We also significant developments of the students toward the more accurate model of our system categorical.

Key Words: Physics Teaching, recursive curriculum, hierarchical models, Conceptual understanding, electrical circuits

1.Introdução

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

O pensamento dos estudantes sobre eletricidade tem sido amplamente estudado por mais de três décadas (Closset, 1983; Gentner e Gentner, 1983; Osborne, 1983; Shipstone, 1984,1988; Millar e King,1993; Millar e Lim Beh, 1993; Driver et al, 1996; Duit e Rhoneck,1998; Borges,1999; Cepni e Keles, 2006). O leitor interessado em uma revisão dessas pesquisas pode encontrá-la em Coelho (2007a). Alguns desses estudos 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, Cepni e Keles, 2006). Nessa perspectiva, a habilidade em explicar um fenômeno, evolui a medida que o indivíduo adquire modelos mais sofisticados sobre os construtos envolvidos nesse fenômeno. Consideramos que essa evolução pode ocorrer devido ao maior conhecimento por parte do indivíduo dos conceitos envolvidos do fenômeno proposto e também da instrução a qual é submetido.

A pesquisa relatada nesse artigo faz parte de uma pesquisa instrumental, na qual desenvolvemos instrumentos qualitativos para acessar o entendimento conceitual dos estudantes e avaliar sua aprendizagem em física. Além do instrumento utilizado nesse estudo, desenvolvemos um outro instrumento para acessar o entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz, que está relatado em outro artigo (Coelho e

Borges, 2007b). Esses instrumentos de coleta de dados permitem obter resultados de forma rápida e simples de ambientes reais de aprendizagem e possibilitam consorciar técnicas qualitativas e quantitativas para analisar os dados.

2.O contexto da Pesquisa:o Currículo em espiral

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

A noção de organização do currículo em espiral foi proposta pelo psicólogo Jerome Bruner, em seu livro “O processo da educação” (1968)³. Este livro foi elaborado a partir das discussões ocorridas na famosa conferência de Woods Hole e como na conferência, são abordados quatro temas: a estrutura das disciplinas, a teoria de aprendizagem, a natureza do pensar e a motivação para aprender. Nas discussões sobre a teoria da aprendizagem, o autor propõe a 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.

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

3.Delineamento metodológico

3.1.Sujeitos da pesquisa

Participaram dessa pesquisa 134 alunos da 3ª série, correspondendo ao terceiro nível do currículo recursivo, de uma instituição federal de ensino (IFE). 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

³ O livro é uma tradução do original “The Process of Education”(1960) por Lólio Lourenço de Oliveira pela Companhia Editora Nacional em 1968.

(EM). A última forma só é acessível aos alunos de uma escola de educação fundamental mantida pela mesma IFE. Essa diferenciação por curso, que na história da escola se reflete em diferentes vocacionamentos em relação à física – uma pessoa é vocacionada se ela apresenta uma disposição cognitiva, afetiva que orienta o seu interesse e o seu engajamento no sentido uma atividade, neste caso de estudar e aprender física. Além desta há uma diferenciação devido a um sistema de cotas sócio-econômicas adotado desde 1972.

Os estudantes que cursam 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.

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 alunos do curso técnico de química (31 estudantes), uma para os alunos do curso técnico de patologia clínica (23 estudantes), duas para os alunos do curso técnico de eletrônica (17 e 18 estudantes) que, para fins de análise, foram agrupadas em uma única turma, e uma para os alunos 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.

3.2. Instrumento de coleta de dados e a lógica de investigação

Para acessar o entendimento dos estudantes sobre a física envolvida em circuitos elétricos, desenvolvemos um instrumento qualitativo. Esse tipo de instrumento permite elicitar o entendimento dos estudantes através de modelos que eles utilizaram em suas explicações.

O instrumento consiste em uma tarefa envolvendo uma dissertação sobre uma situação física. Nessa dissertação os estudantes tiveram que responder a seguinte questão: *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 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.*

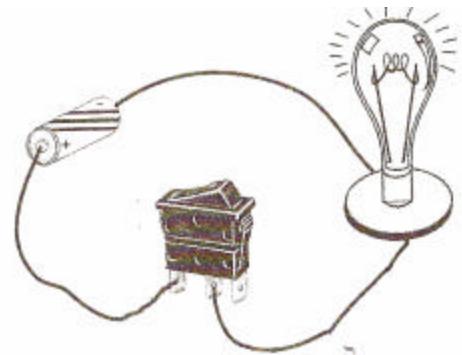


Figura1- Circuito elétrico simples

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

Em Coelho e Borges (2006) e Coelho (2007a), relatamos um estudo sobre a evolução do pensamento dos estudantes sobre a física envolvida no funcionamento dos circuitos elétricos simples. Nesse trabalho, apesar de apresentar dados sobre as duas ocasiões de medida, o nosso foco principal não está em discutir, de forma exaustiva, sobre a evolução no pensamento dos estudantes nesse domínio e sim apresentar o nível de entendimento dos estudantes da terceira série, que corresponde ao último nível do currículo recursivo e espiralado.

4-Análise dos dados

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

série do ensino médio e sobre o desenvolvimento do pensamento dos estudantes ao longo da série investigada.

4.1-Análise qualitativa

4.1.1-Criação do sistema categórico

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

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. 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 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 sistemas categóricos em termos de modelos, para analisar o entendimento dos estudantes. 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. Esses modelos são apresentados no quadro 1.

Quadro 1- Modelos e sub-modelos sobre circuito elétrico simples e suas características

| Modelos | Características |
|-----------------|--|
| Modelo 1 | Corrente elétrica como fluxo |
| 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. |
| Modelo 2 | Corrente elétrica como cargas em movimento |
| 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. |
| Modelo 3 | A diferença de potencial da fonte sendo responsável pela corrente elétrica estabelecida no circuito |
| 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. |
| Modelo 4 | Modelo microscópico |
| | 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 de todo 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. Consideramos os modelos 1 e 2 como menos sofisticados devido as explicações dos estudantes estarem baseadas em termos de entidades e estruturas mais simples. Os modelos 3 e 4 consideramos como mais sofisticados pois os estudantes apresentam com maior propriedade o entendimento dos processos internos e mecanismos que produzem os efeitos observáveis, sendo o modelo 4 o mais próximo das concepções científicas.

4.1.2-Categorização das respostas dos estudantes

Nesse momento apresentaremos alguns exemplos típicos de respostas dadas pelos estudantes e que foram categorizadas de acordo com os modelos sobre circuito elétrico, descritos anteriormente. 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.” (A168)

Essa resposta foi classificada como pertencente ao modelo1. 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.

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 que afirma que:

“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.” (A128)

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”*(A194).

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 A103 apresenta um exemplo típico desse modelo quando ele afirma que:

“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)

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).

4.2-Análise quantitativa

Para atender ao nosso propósito de pesquisa, organizamos os nossos dados em tabelas e gráficos de barras, dessa forma tínhamos a possibilidade de observar a concentração de alunos em cada um dos modelos nas duas ocasiões de medida (ao iniciar e ao terminar o terceiro nível do currículo recursivo).

Apesar do nosso principal propósito nesse trabalho está em determinar o patamar de entendimento dos estudantes na terceira série do ensino médio, usamos o

teste de homogeneidade marginal⁴, que é adequado para testar a homogeneidade marginal em categorias multinominais e ordenadas (Agresti, 2002, cap.10), para verificar se houve progresso nos modelos mobilizados entre as duas ocasiões de medida.

5- Resultados e Discussões

5-1-Prevendo a performance dos estudantes

Borges (1999) ao apresentar os achados do seu estudo, dirigiu sua atenção para a evolução dos modelos dos sujeitos investigados. Os resultados desse estudo mostraram que as seqüências dos modelos que foram identificados seguiam uma ordem hierárquica que 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 com maior nível de escolarização utilizavam a noção de conservação da corrente elétrica em suas respostas.

Baseado nos achados dos estudos descritos no parágrafo anterior, fazemos algumas suposições sobre a performance dos estudantes ao responder a questão proposta no nosso instrumento de pesquisa. Primeiramente, 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. Por isso, esperamos que os estudantes ao encerrarem o terceiro nível do currículo, estejam mobilizando os modelos 3 e 4 em suas respostas, mas com uma forte tendência em direção ao modelo 4, pois o tema eletricidade foi reestudado pela terceira vez.

⁴ Esse teste está disponível no programa Statxact 6 que apresenta um conjunto de pacotes estatísticos com amplas possibilidades para desenvolver diversos processos analíticos, principalmente inferências não-paramétricas exatas. Para determinar se o resultado é significativo utilizamos o seguinte raciocínio: se a probabilidade encontrada no teste for maior que o nível de significância inicialmente definido, as diferenças são melhores explicadas pela hipótese nula associada ao teste. Na hipótese nula desse teste aceitamos que existe uma homogeneidade entre os modelos mobilizados pelos estudantes nas duas ocasiões de medida e qualquer diferença observada é explicada pelo acaso. Caso a probabilidade seja menor que o nível de significância do teste, as diferenças são atribuídas a variável testada. Estamos tomando como o valor crítico de significância estatística em torno de 5% ($\alpha=0,05$). Nesse estudo consideramos que a evolução nos modelos dos estudantes pode ser explicada pelo possível efeito de aprendizagem, devido o reestudo da eletricidade no terceiro nível do currículo recursivo.

5.2-O patamar de entendimento dos estudantes

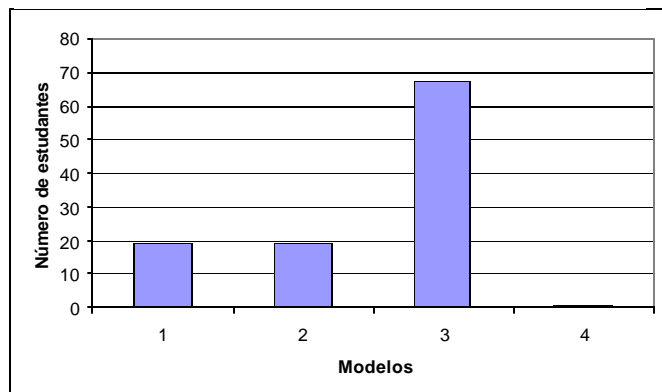
5.2.1-Ao iniciar o terceiro nível do currículo recursivo.

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

Tabela 1: Frequência dos modelos dos estudantes sobre circuito elétrico simples ao iniciar terceira série

| Circuito elétrico simples | | |
|---------------------------|------------|----------------|
| Modelo | Frequência | Porcentual (%) |
| 1 | 19 | 17,9 |
| 2 | 19 | 17,9 |
| 3 | 67 | 63,2 |
| 4 | 1 | 0,9 |
| Total | 106 | 100 |

Gráfico 1: Frequência dos modelos dos estudantes sobre circuito elétrico simples ao iniciar a terceira série



Na primeira aplicação, percebemos que grande parte dos alunos, cerca de 63% dos estudantes, lançam mão do modelo macroscópico mais sofisticados para explicar o fenômeno proposto, que é o modelo 3. É residual o número de estudantes que mobilizaram o modelo 4 que corresponde ao modelo mais sofisticado do nosso sistema categórico e que mais se aproxima da concepção de Drude-Lorentz para a condução elétrica em metais. Vale lembrar que nesse primeiro momento os estudantes não haviam estudado eletricidade na terceira série do ensino médio, mas já haviam estudado o assunto nas séries anteriores. Esses resultados nos mostram que a maioria dos estudantes possuem alto conhecimento prévio sobre eletricidade, que pode ter sido adquirido devido as suas experiências anteriores com o tema.

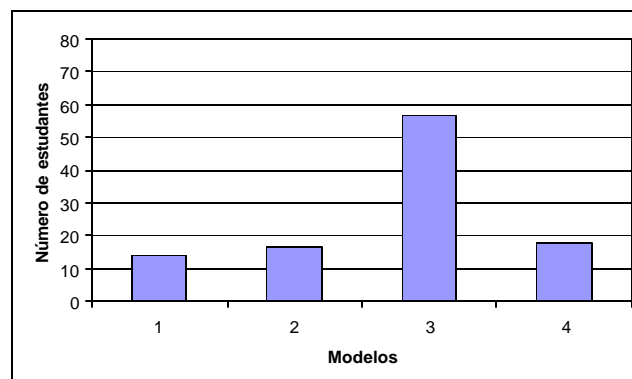
5.2.2-Ao encerrar o terceiro nível do currículo recursivo.

Na tabela 2 e no gráfico 2, apresentamos a concentração dos estudantes em cada um dos modelos no segundo momento de medida.

Tabela 2: Frequência dos modelos dos estudantes sobre circuito elétrico simples ao final da terceira série

| Circuito elétrico simples | | |
|---------------------------|------------|----------------|
| Modelo | Frequência | Porcentual (%) |
| 1 | 14 | 13,2 |
| 2 | 17 | 16,0 |
| 3 | 57 | 53,8 |
| 4 | 18 | 17,0 |
| Total | 106 | 100 |

Gráfico 2: Frequência dos modelos dos estudantes sobre circuito elétrico simples ao final da terceira série



Constatamos o aumento do número de estudantes mobilizando o modelo 4 e o menor número de estudantes mobilizando os modelos 1 e 2 ao encerrar o terceiro nível do currículo recursivo⁵. Os estudantes possuem maior representatividade no modelo 3, pois cerca de 54% dos estudantes estão mobilizando-o ao finalizar o terceiro nível do currículo recursivo. Segundo esse modelo (modelo 3), os estudantes reconhecem a diferença de potencial de uma fonte como agente responsável pela corrente elétrica estabelecida no circuito.

Nessa investigação, verificamos que ao final da terceira série os estudantes utilizavam um raciocínio seqüencial para interpretar a situação física, isso fica evidente principalmente nos três primeiros modelos. 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, nas respostas dos estudantes apresentadas na seção 4.1.2 desse artigo fica claro esse tipo de raciocínio. Esse resultado está de acordo com o resultado de algumas pesquisas sobre entendimento dos estudantes no campo da 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.

⁵ Consideramos as diferenças nos modelos mobilizados pelos estudantes entre as duas ocasiões de mediadas foram significativas pois, encontramos uma probabilidade no teste de homogeneidade marginal que nos permite desprezar a hipótese de homogeneidade dos modelos entre as duas ocasiões de medida ($p = 0,0003$ e, portanto $p < 0,05$).

6-Conclusões e Implicações

Em relação ao entendimento dos estudantes sobre os conceitos físicos, consideramos inicialmente que a retomada de um conteúdo em diferentes momentos, com boas situações de aprendizagem, poderia promover maior entendimento dos conceitos envolvidos nesse conteúdo. Por isso, a nossa expectativa era que os estudantes, ao encerrarem a terceira série do ensino médio, mobilizassem os modelos 3 e 4 do nosso sistema categórico que correspondem aos modelos mais sofisticados.

Ao encerrar o terceiro nível do currículo espiral, o entendimento dos estudantes sobre circuito elétrico simples, tem maior representatividade no nível⁶ três, uma vez que a maioria dos estudantes mobilizaram em suas respostas o modelo 3 do nosso sistema categórico em suas explicações. 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.

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 e engajamento do sujeito por esse conteúdo (lembrando que o interesse e o engajamento dos estudantes estão associados ao seu vocacionamento em relação a uma determinada atividade, no caso estudar e aprender física). Como foi descrito na seção anterior, as turmas investigadas apresentavam grandes diferenças em relação ao vocacionamento pela disciplina física o que pode contribuir para explicar a pouca representatividade dos estudantes, ao encerrar o ensino médio, no modelo mais acurado do nosso sistema categórico. Para exemplificar o argumento apresentado nesse parágrafo, ao realizar uma análise sistemática do nível de entendimento dos estudantes das diferentes turmas, percebemos que a turma EMT de eletrônica, a mais vocacionada para o estudo da física, é turma que possui o maior número de estudantes (10 estudantes) mobilizando o modelo 4 no final da terceira série, enquanto a turma EMT de patologia que é pouco vocacionada para o estudo da Física apresentou apenas 1 estudante mobilizando esse modelo ao final da terceira série.

Constatamos a presença de um raciocínio seqüencial dos estudantes ao falar sobre o funcionamento de um circuito elétrico. 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 evidência a interação dos elementos que compõe circuito, poderia propiciar o desenvolvimento de um pensamento sistêmico nos estudantes para analisar o funcionamento do circuito

⁶ Nessa seção, associamos os modelos que os estudantes utilizaram em suas respostas com patamar de entendimento que eles obtiveram na temática investigada, por isso passamos a nos referir a esses modelos como níveis de entendimento.

elétrico. Esse pensamento sistêmico é essencial para entender o campo elétrico como agente responsável por alterações simultâneas em todos os pontos do circuito.

Como descrevemos anteriormente na terceira série do ensino médio, a maioria dos estudantes mobilizam 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 da temática 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 campos elétricos ao longo do circuito.

7-Referências Bibliográficas

- AGRESTI A. *Categorical Data Analysis*. (2nd Ed). John Wiley & Sons, New York. 2002.
- 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.
- BORGES, A. T. Como evoluem os modelos mentais. *Revista ensaio*, Belo Horizonte, v.1, n.1, p. 85-125, 1999.
- 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.
- 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 du 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**
- COELHO, G.R.; BORGES, O. A evolução dos modelos sobre a natureza da luz em um currículo recursivo. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, VI, Florianópolis, SC, 2007b. IN **Atas**
- COELHO, G.R. A evolução dos modelos explicativos dos estudantes sobre circuitos elétricos e sobre a natureza da luz em um currículo recursivo. 2007a. Dissertação (Mestrado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

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

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.

GENTNER, D. and 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.

LIJNSEE, P.L. Developmental research as a way to an empirically based didactical structure of science. *Science education*, vol. 79, p189-199, 1995.

MILLAR, ROBIN; 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, ROBIN; 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.

OSBORNE, R. Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technology Education*, Vol. 1, nº1, p. 73-82, 1983.

SHIPSTONE, D. M. A study of children's 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.

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