

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO

Fernando Bittencourt Freiesleben

**CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTO NA ÁREA TECNOLÓGICA:
estudo de casos múltiplos sobre a temática circuitos elétricos**

Porto Alegre
2015

Fernando Bittencourt Freiesleben

**Construção de conhecimento na área tecnológica:
estudo de casos múltiplos sobre a temática circuitos elétricos**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Educação.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Luiza Rheingantz Becker

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Liane Ludwig Loder

Linha de pesquisa: Psicopedagogia, Sistemas de Ensino Aprendizagem e Educação em Saúde.

Porto Alegre

2015

CIP - Catalogação na Publicação

FREIESLEBEN, FERNANDO BITTENCOURT

Construção de Conhecimento na Área Tecnológica:
estudo de casos múltiplos sobre a temática circuitos
elétricos / FERNANDO BITTENCOURT FREIESLEBEN. --
2015.

210 f.

Orientadora: Maria Luiza Rheingantz Becker.

Coorientadora: Liane Ludwig Loder.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Educação, Programa de Pós-
Graduação em Educação, Porto Alegre, BR-RS, 2015.

1. Epistemologia Genética. 2. Aprendizagem
Tecnológica. 3. Física. 4. Eletricidade. 5. Circuitos
Elétricos Lineares. I. Becker, Maria Luiza
Rheingantz, orient. II. Loder, Liane Ludwig,
coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Fernando Bittencourt Freiesleben

**Construção de conhecimento na área tecnológica:
estudo de casos múltiplos sobre a temática circuitos elétricos**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Educação.

Aprovada em 28 de agosto de 2015.

Prof.^a Dr.^a. Maria Luiza Rheingantz Becker – Orientadora

Prof.^a Dr.^a. Liane Ludwig Loder - Coorientadora

Prof.^a Dr.^a. Valquíria Villas Boas Gomes Missell - UCS

Prof. Dr. Marco Antonio Moreira - UFRGS

Prof. Dr. Sérgio Roberto Kieling Franco – UFRGS

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus queridos filhos Vinícius e Vitória, a quem muito amo.

Dedico esse trabalho a todos os professores que exercem a docência com uma concepção de que a educação deve ser realizada com muito amor e que, por isso, consideram a aprendizagem pelo ponto de vista do estudante.

Dedico esse trabalho a todos os estudantes que, com esforço e comprometimento, destinam seu tempo não somente para estudar, mas também para compreender e melhorar o mundo.

Por fim, dedico esse trabalho a todos aqueles que, somente por amor, investem parte do seu tempo em prol do desenvolvimento e da evolução das pessoas e do mundo onde vivemos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo dom da vida e por me possibilitar fazer um trabalho que possa auxiliar, não só a mim, mas a todos aqueles que se preocupam em aprender, compreender e em ensinar, especialmente no que se refere aos processos de aprendizagem de fenômenos físicos.

Em segundo lugar agradeço ao meu pai, Geraldo (em memória), e a minha mãe, Francisca Marlene, que me educaram com valores morais sobre a importância de estudar e aprender, de trabalhar com dedicação, de fazer o bem, e de amar aos outros da mesma forma como amamos a nós mesmos.

Agradeço também aos meus filhos Vinícius e Vitória, por terem cedido horas irrecuperáveis de convívio familiar, compreendendo a importância desse trabalho.

Agradeço a todos os professores que tive em toda minha trajetória intelectual, por terem me ensinado, auxiliado, inspirado e motivado. Nessa etapa em específico, agradeço a todos os professores do PPGEDU da UFRGS por seus ensinamentos.

Agradeço a Professora Tania Marques por seus ensinamentos, por seu modo claro e sereno de se fazer compreender, e por ter me incentivado a iniciar o Doutorado.

Agradeço a Professora Darli Collares por seus ensinamentos, por seu modo amoroso de explicar e pelo seu auxílio incondicional, quando necessitei.

Agradeço aos professores Valquíria V. B. G. Missell, Sérgio R. K. Franco e Marco A. Moreira por aceitarem participar da avaliação dessa Tese e por suas importantes contribuições nas bancas de defesa.

Agradeço a minha orientadora, Professora Maria Luiza R. Becker por seus ensinamentos, por seu acolhimento, acreditando e investindo em meu trabalho, por seu modo ponderado, ético e respeitoso de fazer-me refletir, sua paciência, sua interminável dedicação, suas precisas contribuições, correções e advertências, e, principalmente, por ter sido além de uma orientadora, um exemplo para mim.

Agradeço a minha coorientadora, Professora Liane L. Loder por seus ensinamentos, por seu acolhimento e parceria em aceitar auxiliar na construção de um trabalho da envergadura dessa Tese, e por suas contribuições, sempre importantes e oportunas, especialmente com relação à aprendizagem de circuitos elétricos.

Agradeço a todos os meus, e minhas, colegas do PPGEDU que me auxiliaram nessa etapa de minha formação, em especial àquelas colegas que constituíram o grupo de orientação, por terem investido seu precioso tempo em ler os longos textos que elaborei e por terem apresentado importantes sugestões para a construção dessa Tese.

Agradeço também a todos os alunos e amigos que apoiaram, participaram e me auxiliaram, direta ou indiretamente, no processo de construção dessa Tese.

Suas contribuições foram muito importantes para que eu chegasse até aqui.

Muito obrigado!

RESUMO

Essa Tese teve por objetivo investigar a construção do conhecimento de estudantes na área tecnológica a partir do tema circuitos elétricos lineares, procurando responder à questão de pesquisa: “Como os processos cognitivos do sujeito se evidenciam, ou se explicitam, na aprendizagem de circuitos elétricos lineares?”. O referencial teórico utilizado na área de Educação foi a Epistemologia Genética de Jean Piaget e na área de Eletricidade foi a Teoria de Circuitos Elétricos Lineares. A partir desses referenciais elaborou-se proposições teóricas e uma entrevista baseada no método clínico, que visava investigar as explicações dos sujeitos sobre o fenômeno da redução do brilho de uma lâmpada quando da ligação de um chuveiro, durante a simulação do mesmo. Foram realizados estudos de casos múltiplos (YIN, 2001) com dez estudantes do terceiro ano de um curso técnico em eletrônica integrado ao ensino médio. Os resultados indicaram três níveis hierárquicos e sucessivos de explicações, sendo que o terceiro nível foi dividido em dois subníveis. Observei que todos os sujeitos começaram as suas explicações a partir do patamar inicial, e alguns progrediram conforme esses níveis, caracterizando uma psicogênese da compreensão do fenômeno. Identifiquei que a consolidação dos esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares, ou seja, a sua compreensão, bem como o interesse dos sujeitos pelo tema influenciaram o seu desempenho na construção de argumentos mais complexos, completos, sofisticados e mais próximos do significado dos conceitos científicos. Observei, neste processo, as concepções alternativas, que são muito resistentes às mudanças e que produziram contradições entre as predições ou julgamentos e os observáveis. Verifiquei que esses fenômenos somente modificaram o raciocínio dos sujeitos, quando eles haviam construído uma estrutura que permitiu a sua assimilação, bem como quando havia um certo nível de descentração e de interesse. Constatei que essa descentração é fundamental para a evolução da compreensão, pois embora inconsciente, está no âmago das questões de aprendizagem, podendo ser potencializada pelo interesse pelo tema. Observei que quanto menor a capacidade de descentração do sujeito, ou seja, quanto mais egocêntrico for, mais dificuldades terá para desenvolver a compreensão. Verifiquei que, para alguns sujeitos, esse egocentrismo não pode ser superado ao realizar as atividades. Identifiquei que, apesar de aparentemente demonstrarem utilizar o raciocínio lógico formal durante a resolução de problemas, alguns sujeitos apresentaram evidências de não compreenderem o que faziam nem as razões de fazerem, caracterizando um fazer sem compreender, o que leva a se considerar a possibilidade de que a compreensão esteja relacionada com um certo fazer sentido. Particularmente, constatee que essa Tese possibilitou conhecer os processos cognitivos sobre esse fenômeno, proporcionou melhor compreender os conceitos da Epistemologia Genética e permitiu identificar a minha própria psicogênese da compreensão. Por fim, além de identificar possibilidades de novos estudos sobre o pensamento dos adolescentes e a construção do conhecimento na área tecnológica, defendo ter respondido a questão de pesquisa, pois verifiquei que os processos cognitivos se evidenciaram na aprendizagem dos circuitos elétricos lineares através do processo de compreensão do fenômeno da redução do brilho da lâmpada, quando da ligação do chuveiro.

Palavras-chave: Epistemologia Genética. Aprendizagem Tecnológica. Circuitos Elétricos.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to investigate the construction of knowledge in students from the field of Technology, based on the topic of linear electrical networks, to answer the research question: “How the subjects’ cognitive processes are expressed, or manifested, when they learn about linear electrical networks?”. The theoretical framework involved the field of Education, with Jean Piaget’s Genetic Epistemology, and the field of Electricity, with the linear network theory. Theoretical propositions were then formulated, as well as an interview based on the clinical method, which aimed to investigate the subjects’ explanations for the dimming of a lamp when a shower is turned on, during a simulation of that action. Multiple case studies (YIN, 2001) were conducted with ten students who were in the third year of a technical course in Electronics which was integrated with secondary school. The results indicated three hierarchical and successive levels of explanations, the third one being divided into two sublevels. It was observed that all subjects started their explanations from the initial level, and some progressed according to those levels, characterizing a psychogenesis of the understanding of that phenomenon. The consolidation of the conceptual schemes related to linear electrical networks, that is, the subjects’ understanding of them, and the subjects’ interest in the topic were identified as influential in their performance when they presented arguments that were more complex, complete, sophisticated and closer to the meaning of the scientific concepts. In this process, it was also possible to observe alternative concepts, which were very resistant to change and produced contradiction between the subjects’ predictions or judgements and the observable data. These phenomena only modified the subjects’ reasoning when they had constructed a structure that allowed their assimilation, and also when there was a certain level of decentration and interest. This decentration, I have concluded, is fundamental to the evolution of understanding, because, although unconscious, it is in the core of learning issues, and it can be enhanced by the subjects’ interest about the topic they are learning. Those who were less able for decentering – that is, those who were more egocentric – had more difficulties in their process of understanding the phenomena. Despite their apparent use of formal logical thinking when solving problems, some of the subjects showed signs of not understanding what they were doing nor the reasons for what they were doing, characterizing a doing without understanding, which leads to the possibility that understanding is related to a certain ability for making sense. In doing this thesis, I could understand more clearly the cognitive processes related to this phenomenon and the Genetic Epistemology’s concepts. It allowed me to identify my own psychogenesis of understanding. Finally, besides identifying the possibilities for new studies on the thinking process of adolescents and the construction of knowledge in the field of Technology, I believe to have answered the research question, since the cognitive processes were expressed in the learning of linear electrical networks through the process of understanding the dimming of a lamp when a shower was turned on.

Keywords: Genetic Epistemology. Learning of Technology. Electrical Networks.

RESUMEN

Esta tesis tuvo como objetivo investigar la construcción del conocimiento de los estudiantes en el área tecnológica desde el tema de los circuitos eléctricos lineales, tratando de responder a la pregunta de investigación : " ¿Cómo los procesos cognitivos de la persona son evidentes o quedan explícitos cuando del aprendizaje de los circuitos eléctricos lineales ? " . El marco teórico utilizado en el campo de la educación fue la Epistemología Genética de Jean Piaget y en el área de la Electricidad fue la Teoría de Circuitos Eléctricos Lineales. Sobre la base de estas referencias se elaboró proposiciones teóricas y una entrevista basada en el método clínico, cuyo objetivo era investigar las explicaciones de los sujetos respecto al fenómeno de la reducción de la luminosidad de una lámpara al ser incendiada una ducha, durante la simulación del mismo. Se llevaron a cabo estudios de casos múltiples (Yin, 2001) con diez estudiantes del tercer año de los técnicos en electrónica de la escuela secundaria. Los resultados muestran tres niveles jerárquicos y sucesivos de explicaciones, y el tercer nivel se ha dividido en dos sub- niveles. Todos los sujetos comenzaron sus explicaciones desde el nivel inicial, y algunos han progresado según esos niveles, lo que caracterizó una psicogénesis de la comprensión del fenómeno. Identifiqué que la consolidación de los esquemas conceptuales de los circuitos eléctricos lineales, es decir, la comprensión y el interés de los sujetos por el tema influyeron en su desempeño en la construcción de los argumentos más complejos, completos, sofisticados y más cerca de los significados de los conceptos científicos. Observé, en el proceso, las concepciones alternativas, que son mucho más resistentes a los cambios y han producido contradicciones entre las predicciones o juicios y los observables. Me encontré con que estos fenómenos solamente modificaron el razonamiento de los sujetos cuando los mismos habían construido una estructura que permitió su asimilación, así como cuando se produjo un cierto nivel de descentramiento y del interés. Me pareció que esta descentralización es fundamental para la evolución de la comprensión, pues aún inconsciente, está en el corazón de los problemas de aprendizaje, lo que puede ser aún mayor debido al interés en el tema. Me di cuenta de que cuanto menor sea la capacidad de descentración del sujeto, es decir, cuanto más centrado en sí mismo sea, más difícil será el desarrollo de la comprensión. He descubierto que, para algunos sujetos este egocentrismo no puede ser superado mediante la realización de actividades. Identifiqué, aunque aparentemente parezcan estar usando el razonamiento lógico formal para la resolución de problemas, algunos sujetos mostraron evidencia de no entender lo que estaban haciendo tampoco de las razones para hacer caracterizando, un hacen sin entender, lo que lleva a considerar la posibilidad de que la comprensión estea relacionada con un cierto hacer sentido. En particular, constaté que esta Tesis permitió conocer los procesos cognitivos respecto a este fenómeno , además de presentar condiciones de entender mejor los conceptos de Epistemología Genética e identificar la psicogénesis de mi propio entendimiento. Además de la identificación de posibilidades para nuevas investigaciones sobre el pensamiento de los adolescentes y de la construcción del conocimiento en el área de la tecnología, yo defiendo haber respondido a la pregunta de investigación, porque me di cuenta de que los procesos cognitivos se evidencian en el aprendizaje de los circuitos eléctricos lineales a través del proceso de comprensión del fenómeno de reducir el brillo de la lámpara cuando se conecta la ducha.

Palabras clave: Epistemología Genética. Aprendizagem Tecnológica. Circuitos Eléctricos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura de um Átomo, Segundo o Modelo de Bohr-Rutherford.....	56
Figura 2 – Interação entre os Campos Elétricos de Cargas Elétricas Puntiformes.....	57
Figura 3 – Diferença de Potencial Produzindo a Corrente Elétrica.....	59
Figura 4 – Esboço de um Circuito Elétrico para Ligar uma Lâmpada.....	60
Figura 5 – Diagrama Elétrico de Um Circuito Elétrico Elementar.....	61
Figura 6 – Gráfico da Lei de Ohm.....	63
Figura 7 – Circuito Elétrico Linear com Três Resistores em Série.....	64
Figura 8 – Circuito Elétrico Linear com Três Resistores em Paralelo.....	66
Figura 9 – Circuito Elétrico Linear na Configuração Série-Paralelo ou Mista.....	67
Figura 10 – Circuito Equivalente Thèvenin de uma Rede Linear.....	68
Figura 11 – Vista em Corte de uma Pilha Alcalina Cilíndrica.....	70
Figura 12 – Fonte de Tensão Real, com Resistência Interna.....	70
Figura 13 – Interação entre Sujeito e Objeto.....	81
Figura 14 – Experimento Inicial com Bateria de 9V e Lâmpada de 6V x 250mA.....	196
Figura 15 – Experimento Inicial com Bateria de 9V e Lâmpada de 6V x 40mA.....	196
Figura 16 – Fluxograma Resumido da Entrevista.....	199
Figura 17 – Blocos Parciais das Situações Experimentais.....	200
Figura 18 – Versão Final do Experimento só com as pilhas.....	202
Figura 19 – Versão Final do Experimento com pilhas e lâmpada.....	202
Figura 20 – Versão Final do Experimento com pilhas, lâmpada e resistor do chuveiro.....	202
Figura 21 – Desenhos do Sujeito S31.....	206
Figura 22 – Questão do ENEM.....	209
Tabela 1 – Total de Artigos e Artigos Localizados nos COBENGES.....	25
Tabela 2 – Categorias, subcategorias e evidências.....	117
Tabela 3 – Patamares de compreensão do fenômeno.....	123
Tabela 4 – Trabalhos e Objetivos.....	190
Tabela 5 – Combinação com Verbo no Final (Elec... Circ... ..).....	191
Tabela 6 – Combinação com Verbo no Início (... Elec... Circ...).....	191
Tabela 7 – Classificação dos Trabalhos.....	192
Tabela 8 – Evolução das Entrevistas.....	201
Tabela 9 – Mapas de Desempenho do Sujeito S30.....	205

Tabela 10 – Legenda dos Mapas de Desempenho do Sujeito S30.....	205
Tabela 11 – Observáveis Elétricos para o Sujeito S34.....	207

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CNCT – Catálogo Nacional dos Cursos Técnicos

COBENGE – Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia

ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio

PCNs – Parâmetros Curriculares Nacionais

PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

SI – Sistema Internacional de Medidas

UCS – Universidade de Caxias do Sul

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 TRAJETÓRIA INTELECTUAL.....	14
1.2 OBJETIVO, PROBLEMA E SUBQUESTÕES DE PESQUISA	17
1.3 APRESENTAÇÃO DA TESE	17
2 A TEORIA DE CIRCUITOS ELÉTRICOS LINEARES E A EDUCAÇÃO	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO	24
3.1 O ESTADO DA ARTE	24
3.2 TEORIA DE CIRCUITOS ELÉTRICOS: CIRCUITOS ELÉTRICOS LINEARES	55
3.3 EPISTEMOLOGIA GENÉTICA	72
3.3.1 Aprendizagem e Construção do Conhecimento	72
3.3.2 O Pensamento do Adolescente	77
3.3.3 A Coordenação dos Pontos de Vista	80
3.4 PROPOSIÇÕES TEÓRICAS	86
4 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	90
4.1 ESTUDO PRELIMINAR.....	90
4.2 METODOLOGIA E DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	92
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS E CUIDADOS ÉTICOS.....	99
4.4 PROCEDIMENTOS E INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	100
4.4.1 Convenções de Termos Técnicos de Eletricidade	100
4.4.2 Elaboração do Instrumento de Coleta de Dados	104
4.5 ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	113
4.5.1 A Construção das Categorias de Análise	115
4.5.2 A Construção dos Níveis	120
5 RESULTADOS DAS ENTREVISTAS	123
5.1 NÍVEL 1: PRÉ-NOÇÕES OU ASSIMILAÇÃO DIRETA.....	124
5.2 NÍVEL 2: NOÇÃO CONCEITUAL SUBJACENTE OU PRELIMINAR.....	132
5.3 NÍVEL 3, SUBNÍVEL 3A: COMPREENSÃO CONCEITUAL OPERATÓRIA.....	138
5.4 NÍVEL 3, SUBNÍVEL 3B: COMPREENSÃO CONCEITUAL FORMAL.....	145
6 DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	149
6.1 RELAÇÕES COM OUTROS ESTUDOS	149

6.2 RESULTADOS E REFLEXÕES SOBRE A APRENDIZAGEM TECNOLÓGICA	153
6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	169
REFERÊNCIAS	176
APÊNDICES	189
APÊNDICE A – Trabalhos e Objetivos.....	190
APÊNDICE B – Combinações de Palavras-Chave.....	191
APÊNDICE C – Classificação dos Trabalhos.....	192
APÊNDICE D – Atividade Apresentada no Estudo Preliminar	193
APÊNDICE E – Termo de Autorização para Realização da Pesquisa.....	194
APÊNDICE F – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	195
APÊNDICE G – Experimentos Iniciais (Projeto da Tese).....	196
APÊNDICE H – Roteiro Inicial de Perguntas	197
APÊNDICE I – Questões Norteadoras das Intervenções (nona versão)	198
APÊNDICE J – Fluxograma Resumido da Entrevista	199
APÊNDICE K – Blocos Parciais das Situações Experimentais.....	200
APÊNDICE L – Evolução das Entrevistas.....	201
APÊNDICE M – Fotos da Versão Final do Experimento.....	202
APÊNDICE N – Destaques da Entrevista do Sujeito S29.....	203
APÊNDICE O – Mapas de Desempenho do Sujeito S30	205
APÊNDICE P – Desenhos do Sujeito S31	206
APÊNDICE Q – Observáveis Elétricos para o Sujeito S34.....	207
ANEXOS	208
ANEXO 1 – Questão do ENEM	209

1 INTRODUÇÃO

Início essa Tese com o objetivo de apresentar o leitor ao trabalho de investigação que elaborei sobre a compreensão dos estudantes no que se refere aos circuitos elétricos lineares, bem como contextualizá-lo sobre a problemática em que ela se insere. Para tanto, primeiro descrevo, de forma resumida, minha trajetória intelectual, minha experiência com relação ao tema de pesquisa, meus pontos de vista, minhas preocupações e inquietações, e, minha motivação para desenvolver tal pesquisa. A seguir apresento o problema de pesquisa, a subquestão de pesquisa, e os objetivos desse trabalho. Concluo essa introdução apresentando os capítulos contidos na Tese.

1.1 TRAJETÓRIA INTELECTUAL

Quando decidi ingressar no Doutorado em Educação, me deparei com um problema original: Que assunto escolher? Que tema seria mais relevante? Foi muito difícil escolher, pois gostava de tudo e desejava que fosse algo que pudesse contribuir com o trabalho dos professores e com o aprendizado dos estudantes.

Passei um longo tempo me questionando e frequentemente trocava o meu tema de pesquisa. O tempo passava inexoravelmente. Então tive uma ideia: quem sabe posso encontrar alguma pista, ou ter alguma ideia, se rastrear minha trajetória intelectual?

Nessa busca, lembrei-me de situações em que meus professores questionavam o fato de alguém não saber algum assunto ou conceito já estudado. “Como é que vocês não sabem isso?” era uma expressão típica de espanto e indignação muito frequente no semblante de meus mestres. Entretanto, como eu tinha facilidade para aprender, não compreendia como alguns colegas esqueciam o que já haviam estudado.

Lembro que quando eu era adolescente meu pai lecionava Mecânica, e às vezes eu o acompanhava e assistia às suas aulas, e foi então que resolvi fazer o Curso de Técnico em Eletrônica. Talvez essa convivência com o trabalho de meu pai também tenha influenciado na minha escolha pela carreira de professor.

Ao encerrar esse curso, nossa turma escolheu o Prof. Marcos, que lecionava Língua Portuguesa, como paraninfo, o qual decidiu presentear os dois estudantes de melhor

desempenho da turma. Como eu sempre gostei de estudar e sempre tive boas notas, acabei sendo o segundo colocado e recebi o presente. Era um livro, no qual tinha a seguinte dedicatória: “Receber um livro é um elogio e um desafio”. Naquela época, achei que era somente um pensamento muito bonito, mas só agora percebo o impacto profundo que ele teve na minha trajetória intelectual.

Hoje, se eu precisasse definir meus objetivos como professor, ousaria dizer que norteio minhas ações pelos seguintes verbos: motivar, desafiar e orientar, no mesmo sentido em que Rosa, Garcia e Anvame-Nze (2009, p. 1) afirmam que no ensino superior de Engenharia a utilização de métodos e estratégias que estimulem e desafiem os alunos é uma ferramenta importante e eficaz no processo de aprendizagem.

Ao optar por um curso superior, decidi continuar na área em que estava, ou seja, fui estudar Engenharia Elétrica, na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) e, apesar do grau de dificuldade do curso, não tive muitos problemas, pois gosto muito de aprender e ainda tinha uma boa base do curso técnico.

No ano de 1989 concluí o curso superior com uma nota média de 7,63, o que me outorgou o posto de segundo colocado entre os formandos das turmas de Engenharia Elétrica - ênfase em Eletrotécnica e ênfase em Eletrônica, sendo justamente essa condição de desempenho que me qualificou para iniciar minhas atividades docentes.

Naquela ocasião, o Professor Dr. Rubens, que foi o nosso paraninfo, convidou-me para exercer a função de professor-auxiliar no curso de Engenharia Elétrica da PUCRS, no qual permaneci até 1991, quando então fui selecionado por concurso público para lecionar na Escola Técnica Federal de Santa Catarina, onde fiquei por dois anos, tendo que voltar ao Rio Grande do Sul por questões familiares e de saúde.

Lembro-me que, na primeira vez que lecionei, vivenciei o mesmo que aconteceu com meus professores e eu me vi fazendo a mesma pergunta que meus professores faziam: “como é que vocês não sabem isso?”, uma vez que já haviam estudado esses assuntos anteriormente. Eu me questionava: “o que eu poderia fazer para auxiliar no aprendizado e numa compreensão efetiva e duradoura dos conhecimentos para esses estudantes?”.

Após meu retorno para Porto Alegre, lecionei em outros cursos, escolas e universidades, onde continuei a encontrar problemas de dificuldades de aprendizagem. Tentei utilizar diversas metodologias e estratégias, mas me parecia que os problemas não estavam na metodologia, e sim em alguma dificuldade particular de compreensão.

Em 2001, ingressei no mestrado em Engenharia, para aprimorar meus conhecimentos e melhorar o resultado de meu trabalho. Nessa jornada aprendi muito sobre o conhecimento

específico, mas o que mais me chamou a atenção foi ter constatado que, além desse conhecimento específico, é importante que o professor conheça os processos cognitivos dos estudantes: Como eles aprendem? Por que alguns estudantes não compreendem os conceitos? Por que esquecem o que estudaram? Por que não conseguem estabelecer raciocínios lógicos e relações? Por que não conseguem aplicar e relacionar as técnicas e as teorias com as situações práticas? Por que? Por que?

A partir de então, comecei a estudar as Teorias do Desenvolvimento Cognitivo, sobretudo a Epistemologia Genética de Jean Piaget, que foi aquela com a qual mais me identifiquei. Foi então que comecei a entender um pouco melhor porque muitos estudantes chegavam ao Ensino Médio, e inclusive ao Ensino Superior, apresentando importantes dificuldades na compreensão de certos conceitos e formulações físicas e matemáticas.

Penso que, provavelmente, esses estudantes foram submetidos a um ensino baseado na aprendizagem por reforço externo e por repetição, por reprodução de conhecimentos, que subestima os aspectos relacionados com a compreensão, pois, conforme Piaget (1978, p. 179), “compreender consiste em isolar a razão das coisas, enquanto fazer é somente utilizá-las com sucesso”. Ainda neste sentido, Piaget defende que: “a aprendizagem com reforço externo (por exemplo, permitir que o sujeito observe os resultados da dedução que ele deveria ter feito ou informá-lo verbalmente) produz muito pouca mudança no pensamento lógico ou então uma extraordinária mudança momentânea, sem compreensão real” (PIAGET, 1975, p. 88).

Nessa mesma linha de pensamento, cito Mello (2005), que declara, no resumo de sua dissertação, ter chegado à conclusão de que o ensino descontextualizado e mecanicista produz uma aprendizagem incapaz de estabelecer conexões com outros conceitos, bem como de servir de base para novas aprendizagens, e Piaget (1975, p. 89), ao afirmar que “cada vez que ensinamos prematuramente a uma criança alguma coisa que poderia ter descoberto por si mesma, esta criança foi impedida de inventar e conseqüentemente de entender completamente”.

Tenho a convicção de que meu trabalho como professor deve auxiliar nesse processo, no desenvolvimento das pessoas, e assim contribuir para uma Educação de Qualidade, feita com amor, empatia, descentração, conhecimento, competência, dedicação, abnegação, de modo que possa auxiliar a promover o progresso intelectual, físico, material, financeiro e moral da nossa sociedade.

1.2 OBJETIVO, PROBLEMA E SUBQUESTÕES DE PESQUISA

Assim, aliando meus interesses de estudo à minha trajetória intelectual e tendo como referencial teórico a Epistemologia Genética, desenvolvi essa Tese com o objetivo de **investigar a construção do conhecimento de estudantes na área tecnológica a partir de um tema específico de eletricidade**, que é a análise de circuitos elétricos lineares em corrente contínua.

Meu desafio era responder ao seguinte problema de pesquisa: **Como os processos cognitivos do sujeito se evidenciam, ou se explicitam, na aprendizagem de circuitos elétricos lineares?**

Neste sentido, minhas subquestões de pesquisa referiam-se a identificar como os estudantes do terceiro ano do ensino médio de um curso técnico em eletrônica:

- **explicam os fenômenos observados em um experimento prático de circuitos elétricos lineares em corrente contínua submetido a diferentes condições de funcionamento?**
- **relacionam os fenômenos observados em um experimento prático de circuitos elétricos lineares em corrente contínua submetido a diferentes condições de funcionamento com o seu respectivo modelo teórico?**

Para alcançar esse objetivo e responder a essas questões, então, desenvolvi a investigação descrita na presente Tese, sobre a qual apresento um resumo nos parágrafos seguintes.

1.3 APRESENTAÇÃO DA TESE

No presente capítulo apresento uma síntese da minha trajetória intelectual, descrevendo minha experiência com relação ao tema de pesquisa e minha motivação para desenvolver tal pesquisa, e ainda, apresento o objetivo, o problema de pesquisa, as subquestões de pesquisa, bem como os capítulos contidos nessa Tese.

No Capítulo 2, apresenta-se diferentes perspectivas que apontam a necessidade e a relevância desse tema para a educação em geral e, mais especificamente, para a formação do Técnico em Eletrônica. Comenta-se a legislação que indica a relevância desse tema tanto para

o Ensino Fundamental como para o Médio, e, principalmente, para o Curso de Técnico em Eletrônica. Demonstra-se como o tema é central ao Curso de Técnico em Eletrônica e como está inserido na grade curricular, cita-se sua importância como pré-requisito para outros aprendizados e, além disso, apresenta-se depoimentos de professores da área.

No Capítulo 3 trata-se do Referencial Teórico. No item 3.1, relata-se um levantamento feito sobre o estado da arte desse tema, procurando descobrir o que existe de mais atual, em termos de debate acadêmico, sobre a forma como os estudantes aprendem os circuitos elétricos lineares. Para isso, no item 3.1 analisa-se os anais dos cinco mais recentes Congressos Brasileiros de Educação em Engenharia (COBENGEs), o Banco de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), o endereço eletrônico da Revista Brasileira de Ensino de Física na *internet*, o endereço eletrônico do Caderno Brasileiro de Ensino de Física, também na *internet*, o endereço eletrônico do Portal de Periódicos da CAPES, na *internet*, e, ainda artigos de fontes diversas, alguns recebidos e outros localizados através de referências que estavam presentes naqueles artigos que foram encontrados nos endereços citados anteriormente.

No item 3.2, apresenta-se os conceitos fundamentais da Teoria de Circuitos Elétricos Lineares que se utilizou neste trabalho. No item 3.3, discute-se conceitos fundamentais da Epistemologia Genética que foram considerados ao analisar os resultados da investigação de campo, considerando a aprendizagem e a construção do conhecimento, o pensamento do adolescente, e, a coordenação dos pontos de vista. No item 3.4, apresenta-se as proposições teóricas que nortearam esta pesquisa.

O Capítulo 4 versa sobre o Desenvolvimento da Pesquisa, no qual descreve-se o estudo preliminar, a metodologia e o delineamento da pesquisa, os sujeitos entrevistados e os cuidados éticos adotados, os procedimentos e os instrumentos de coleta de dados, e, finalmente, a organização e a forma de análise dos dados obtidos.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados das entrevistas conforme os seus respectivos níveis de compreensão dos circuitos elétricos lineares, em especial do fenômeno da redução da tensão da pilha quando da ligação do resistor de simulação do chuveiro, considerando as relações implícitas e o modelo científico explicativo.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as discussões e considerações sobre os resultados dessa pesquisa. Primeiro discute-se as relações encontradas entre essa pesquisa e outros estudos sobre aprendizagem em eletricidade. A seguir desenvolve-se algumas reflexões sobre os resultados desse estudo com relação à aprendizagem tecnológica, mais especificamente, a compreensão dos circuitos elétricos lineares. Depois apresenta-se algumas inferências sobre

situações específicas vivenciadas durante os processos de análise da compreensão do fenômeno em questão. No capítulo final, então discute-se as respostas às questões que originaram essa investigação, limitações, sugestões para estudos futuros, pontos positivos e apresentam-se as considerações finais.

Importante ressaltar que, nesta pesquisa, não se tem a pretensão de apresentar conclusões absolutas, imutáveis ou definitivas, até porque foi feito um recorte de uma realidade, uma vez que não é possível entrevistar todos os sujeitos. Além disso, considerando que cada sujeito, com seus esquemas de pensamento e forma particular de interagir com o mundo, com suas idiossincrasias que realimentam seus esquemas de pensamento, formam um universo único e individual, a análise será sempre parcial.

Entretanto, acredita-se que os estudos aqui apresentados sejam úteis e fundamentais, para possibilitar um outro olhar sobre a Educação Científica e Tecnológica, no qual os pontos de vista do estudante, seu histórico de vida, sua cultura, seus conhecimentos anteriores e a sua forma própria de aprender, etc. sirvam de referência para que, tanto o professor como o próprio estudante, possam intervir de forma ativa no processo de construção do conhecimento e de desenvolvimento da compreensão, e cada um no que lhe diz respeito, possam se tornar, em um sentido piagetiano, protagonistas ativos do seu próprio aprendizado.

2 A TEORIA DE CIRCUITOS ELÉTRICOS LINEARES E A EDUCAÇÃO

Neste capítulo pretende-se mostrar a relevância do estudo dos circuitos elétricos mediante três perspectivas. Primeiro, aborda-se a importância que os Parâmetros Curriculares Nacionais, os PCNs, atribuem ao assunto tanto no Ensino Fundamental como no Ensino Médio. A seguir, destaca-se a necessidade da Teoria de Circuitos Elétricos Lineares em cursos para formação de Técnicos em Eletrônica, e, finalmente, comenta-se entrevistas de professores da área de Eletricidade e Eletrônica, que demonstram preocupação com as dificuldades de aprendizagem dos estudantes e reforçam a importância desse tema.

No Ensino Fundamental e no Ensino Médio, os PCNs possuem a finalidade de fornecer orientações para a elaboração dos projetos político-pedagógicos, a fim de articular conteúdos, metodologias e epistemologias, e, ainda, como descrito em Brasil (1998, p. 9), tem “a intenção de provocar debates a respeito da função da escola e reflexões sobre o que, quando, como e para que ensinar e aprender”.

No Ensino Fundamental, os PCNs recomendam que essa articulação seja feita através de eixos temáticos tais como “Tecnologia e Sociedade”, exemplificando com situações de interesse da disciplina de Física referentes a eletroeletrônica, magnetismo, acústica, óptica e mecânica, tais como: circuitos elétricos, campainhas, máquinas fotográficas, motores, chuveiros, torneiras e rádios a pilha (BRASIL, 1998, p. 49).

Esse documento exemplifica ainda que, mediante uma determinada situação, como descobrir de onde vem a energia elétrica, é possível estudar diversos conteúdos, tais como a geração e transmissão de energia elétrica, os princípios de conservação de energia, transformação de energia mecânica em energia elétrica, calor, luz, propriedades dos materiais, corrente, circuitos elétricos e geradores.

No que diz respeito ao Ensino Médio, a legislação prevê Orientações Curriculares, que consistem de temas estruturadores e unidades temáticas que articulam competências e conteúdos, dentre os quais três possuem relação direta com Circuitos Elétricos Lineares, quais sejam: Calor, Ambiente e Usos de Energia; Som, Imagem e Informação; e Equipamentos Elétricos e Telecomunicações (BRASIL, 2006, p. 57).

Na Educação Profissional de Nível Técnico, o Catálogo Nacional dos Cursos Técnicos (CNCT), segundo o documento (BRASIL, 2012, p. 5), “constitui-se em referência e fonte de orientação para a oferta de cursos técnicos no país”, bem como relaciona as atividades profissionais e locais de atuação principais dos egressos.

Segundo esse documento (BRASIL, 2012, p. 149), “um Curso Técnico é um curso de nível médio que objetiva a capacitar o aluno com conhecimentos teóricos e práticos nas diversas atividades do setor produtivo”.

No que diz respeito à relação dos cursos técnicos com o ensino regular, a Lei Nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, no seu Capítulo III, artigo 40, citada em Brasil (2005, p. 11), prevê que a educação profissional deverá ser desenvolvida em articulação com o ensino regular ou por diferentes estratégias de educação continuada.

Essa articulação dos cursos técnicos com o Ensino Médio, como descrita em Brasil (2012, p. 149), pode se dar de três formas: a) integrada, quando o currículo do curso reunir os conhecimentos do Ensino Médio às competências da Educação Profissional; b) concomitante, quando ocorre uma complementaridade entre o curso técnico e o Ensino Médio; c) subsequente, após o término do Ensino Médio.

A concepção curricular de um curso técnico, segundo o parecer CNE/CEB nº 16/99 (BRASIL, 2005, p. 41), possui flexibilidade e é prerrogativa e responsabilidade da escola, que deve desenvolvê-lo de acordo com um plano de curso contextualizado com o mundo do trabalho, visando o alcance do perfil profissional de conclusão.

Quanto ao Técnico em Eletrônica, o CNCT (BRASIL, 2012, p. 34) destaca como atividades principais o desenvolvimento de projetos, instalação, medições, testes, manutenção, controle da qualidade e gestão da produção de equipamentos. No que se refere aos temas a serem abordados na sua formação, aponta Eletricidade e Eletrônica, entre outros. Assim, esses fatores remetem a um curso estruturado por disciplinas fundamentadas nos conceitos da Teoria de Circuitos Elétricos Lineares.

Comenta-se, como exemplo, a Matriz Curricular de um Curso Técnico de Eletrônica de uma Escola Técnica da Região Metropolitana de Porto Alegre (FUNDAÇÃO ESCOLA TÉCNICA LIBERATO SALZANO VIEIRA DA CUNHA, 2010, p. 5), no qual a Teoria de Circuitos Elétricos Lineares é trabalhada diretamente ou como pré-requisito em nove disciplinas (1.233,5 horas) dentre as 13 disciplinas da Área Técnica (1.700,3 horas), o que corresponde a 72,6% da carga horária total das disciplinas da Área Técnica.

Neste curso, é na disciplina de Introdução à Eletrônica que se inicia o estudo de conceitos da Teoria de Circuitos Elétricos Lineares, dentre os quais se destacam: grandezas elétricas, resistência, tensão, corrente, Lei de Ohm, Lei de Joule, Leis de Kirchhoff, divisores de tensão e de corrente. Nas demais nove disciplinas, os conceitos dessa teoria são pré-requisitos para o aprendizado de Bases Tecnológicas como os sinais periódicos, funcionamento de circuitos, comportamento de componentes, bem como para o

desenvolvimento de Competências Específicas, tais como: ler e interpretar diagramas de circuitos elétricos, efetuar medidas de correntes e tensões, realizar e documentar ensaios práticos e testes, fazer análise de circuitos, identificar defeitos, estudar o funcionamento de componentes, equipamentos e sistemas eletroeletrônicos.

A seguir, comenta-se os depoimentos de quatro professores, que lecionam eletricidade e eletrônica em cursos técnicos, sobre a relevância do tema em questão e sobre a aprendizagem dos estudantes em relação a esse tema. Por uma questão de preservação de identidade, reporta-se a todos esses professores no masculino, denominando-os pelo número correspondente à ordem em que foram entrevistados.

Todos os quatro professores entrevistados são formados em um curso técnico, três de Eletrônica e um de Eletrotécnica; três são graduados em Engenharia Elétrica e um deles é graduado em curso superior de Ciências da Computação; dois têm especialização na área de educação e um tem mestrado na área tecnológica. Todos os professores já exerceram atividades como Técnico e possuem entre 2 a 30 anos de exercício da docência nas disciplinas da área de eletricidade e eletrônica.

Em geral, todos os professores concordam que os conceitos estudados na Teoria de Circuitos Elétricos Lineares são fundamentais e pré-requisitos para a continuidade e o aprofundamento dos estudos em todo o Curso de Técnico em Eletrônica, porque, conforme disse o Professor nº 3: “O raciocínio que o aluno irá utilizar para resolver um circuito ele vai precisar em muitos outros casos mais complexos”.

Os professores ressaltam que esses conceitos não são triviais. O Professor nº 2 afirmou que: “Muitos chegam até o final do curso sem, na verdade, compreender o que estão fazendo”, e o Professor nº 1 advertiu: “A maioria dos alunos não consegue fazer diferente do que foi ensinado! Eles agem como se estivessem robotizados”.

Os professores também demonstraram reconhecer a importância de se conhecer o raciocínio do aluno para poder auxiliar sua aprendizagem. O Professor nº 4 reconheceu as dificuldades do aluno em estabelecer relações entre variáveis e afirmou ainda que: “O tipo de raciocínio utilizado pelo aluno é muito importante, porque ele precisará deste raciocínio para solucionar outros problemas de maior nível de complexidade”.

Quanto ao tema de pesquisa, os professores defenderam a sua importância. O Professor nº 3 declarou que: “O tema é muito mais importante do ponto de vista da descoberta do processo de desenvolvimento cognitivo do aluno do que do ponto de vista do conhecimento técnico propriamente dito”. O Professor nº 1 defendeu que a pesquisa deve ser

focada no ponto de vista do raciocínio do aluno, e que: “O ganho da pesquisa é saber como o aluno constrói algo que não consegue ver”.

Para completar esse levantamento, decidiu-se entrevistar um Professor Universitário de notório saber, com graduação em Engenharia Elétrica, Mestrado e Doutorado em Educação, cuja tese teve por objetivo compreender como se constitui o sujeito da aprendizagem e como se dá a gênese do conhecimento do aluno de Engenharia Elétrica em um ambiente escolarizado, e que leciona em um curso de Engenharia Elétrica de uma Instituição de Ensino Superior, o qual denominou-se de Professor nº 5.

O Professor nº 5 afirmou que o tema deste projeto é interessante e que vê nele a possibilidade de relacionar categorias de desenvolvimento cognitivo dos sujeitos com as desenvolvidas por Piaget. Disse que o tema possui relevância porque é transversal na área de eletricidade e declarou que o problema de pesquisa aborda uma questão fundamental do pensamento lógico matemático, pois, segundo ele: “Para compreender e quantificar os fenômenos na área de eletricidade é preciso um nível muito avançado de raciocínio lógico-matemático”. Relatou que esse problema aparece também em outros momentos, na área de eletricidade, com um nível de complexidade muito maior.

Esse professor comentou que o trabalho possui um nível de complexidade suficiente para que se possa pesquisar o assunto e ainda abre a possibilidade de um avanço futuro, porque poderá fornecer subsídios para um aprofundamento em outros temas ainda mais complexos. Declarou: “Poderá ancorar outras situações de pesquisa”.

O professor ponderou que a pesquisa foca em algo que talvez esteja escondido, pois também observou que alguns estudantes mais adiantados não conseguiam estabelecer relações entre os modelos teóricos e suas aplicações. Afirmou que o uso inadequado do modelo teórico pode levar o aluno a concluir, erroneamente, que a teoria é falha. Declarou que lhe pareceu estranho quando um estudante, já no final do curso de Engenharia Elétrica, ainda estava preso ao pensamento de que a tensão na saída da fonte se manteria constante, independentemente do valor do que é ligado em seus terminais de saída.

Pode-se verificar que os depoimentos confirmam a importância do tema para as áreas de eletricidade e eletrônica, mostrando, inclusive, um entusiasmo com a proposta da pesquisa. Eles também enaltecem a preocupação com o aprendizado e com a compreensão dos estudantes sobre os circuitos elétricos lineares, demonstram o desejo de conhecer os processos de aprendizagem dos estudantes sobre esse tema e mostram preocupações com o ensino baseado apenas na repetição.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O ESTADO DA ARTE

Neste capítulo, apresenta-se um levantamento efetuado com o intuito de verificar qual o debate acadêmico que existe atualmente sobre o modo como os estudantes aprendem os circuitos elétricos.

Para esse fim, utilizou-se, no projeto de Tese, as seguintes fontes de informações: i) os anais dos COBENGES, contidos em *compact disc*, e ii) o Banco de Teses e Dissertações da CAPES, do Ministério da Educação, na *internet*. Após uma indicação da Banca, na apresentação do projeto da Tese, em 26 de fevereiro de 2013, ampliou-se a busca para as seguintes fontes: iii) a Revista Brasileira de Ensino de Física, na *internet*; iv) o Caderno Brasileiro de Ensino de Física, também na *internet*, v) o Portal de Periódicos da CAPES, na *internet*; e, vi) Fontes Diversas, onde estão incluídos alguns trabalhos recebidos e outros localizados através de referências que constavam nos trabalhos lidos.

Assim, na investigação desenvolvida por essa Tese, localizou-se 24 trabalhos sobre aprendizagem de circuitos elétricos lineares, os quais estão elencados no Apêndice A – Trabalhos e Objetivos em uma tabela que relaciona, de forma resumida, esses trabalhos com os correspondentes objetivos, inferidos a partir das leituras.

A seguir, descreve-se como se obteve esse resultado, apresenta-se algumas obras que, embora não se referissem ao tema da Tese, investigavam a aprendizagem pelo ponto de vista do estudante e, analisa-se os 24 trabalhos sobre a aprendizagem de circuitos elétricos lineares. Inicia-se apresentando as obras destacadas nos COBENGES de 2007 a 2011 e no Banco de Teses e Dissertações da CAPES, localizadas durante o projeto da Tese.

O Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) é um importante fórum brasileiro de reflexão sobre a Educação em Engenharia e áreas correlatas, abordando temas como metodologias e modalidades de ensino, avaliações, currículos, dentre outros.

De posse dos anais desses congressos, contidos em *compact disc*, começou-se a procurar, em cada evento, artigos relacionados com o tema dessa pesquisa, ativando o mecanismo de busca através das palavras-chave “ensino e aprendizagem de circuitos elétricos”, resultando nos dados apresentados na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Total de Artigos e Artigos Localizados nos COBENGEs

Ano do COBENGE	Total de Artigos	Artigos Localizados
2007	607	6
2008	317	14
2009	283	9
2010	330	19
2011	476	16
TOTAL	2013	64

Fonte: Elaborado pelo Pesquisador

Muito embora tenha se localizado 64 artigos, ao ler seus resumos verificou-se que somente um artigo se referia a aprendizagem em circuitos elétricos. Esse artigo foi publicado por Balen, Villas-Boas e Catelli (2008), da Universidade de Caxias do Sul, no COBENBE de 2008, e investigava as concepções dos estudantes sobre eletricidade em um circuito com duas lâmpadas em série. Neste trabalho os autores encontraram três modelos: o modelo A (comportamento seqüencial) no qual “a corrente se gasta”, o modelo B (comportamento local) que apresenta uma crença irrestrita nas especificações do componente, e, o modelo C que considera os conceitos físicos baseado no “formalismo científico”.

Constatou-se que mais nenhum dos arquivos se referia ao tema circuitos elétricos, mas a diversos temas que foram selecionados pelo mecanismo de busca porque continham as expressões “ensino e aprendizagem” ao longo dos seus textos. Então, refez-se a busca utilizando as expressões “ensino de circuitos elétricos” e “aprendizagem de circuitos elétricos” individualmente; entretanto, nenhum outro arquivo foi encontrado.

Em virtude da carência de artigos sobre a aprendizagem de circuitos elétricos, decidiu-se então reler os resumos dos 63 artigos com o objetivo de identificar aqueles em que o autor investigava a aprendizagem pelo ponto de vista do estudante. Partiu-se da premissa de que esse foco é pré-requisito para aqueles que desejam investigar a aprendizagem de circuitos elétricos. Assim, encontrou-se 14 artigos, os quais apresenta-se a seguir.

No congresso de 2007 (CONGRESSO, 2007) havia somente o artigo de Araújo *et al.*, da Universidade de Pernambuco, que visava investigar as dificuldades encontradas por estudantes iniciantes nos cursos de Engenharia da Escola Politécnica dessa universidade.

No ano de 2008 (CONGRESSO, 2008) havia dois trabalhos nessa linha: Loder (2008), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, apresentou um trabalho no qual investigava a

representação psicossocial como a autoimagem do aluno; Curi e Farias (2008), da Universidade Federal de Campina Grande, apresentaram um artigo em que analisavam os métodos de estudos dos estudantes e a sua relação com o seu desempenho acadêmico.

Em 2009 (CONGRESSO, 2009) foram apresentados três trabalhos: Loder (2009a), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, apresentou dois trabalhos, um sobre a formação dos estudantes em Engenharia Elétrica com relação às suas expectativas e competências adquiridas, e outro, sobre as competências construídas por esses estudantes ao longo do curso (LODER, 2009b); Sarubbi e Soares (2009), da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, relataram um estudo sobre os problemas de cálculo de taxas relacionadas e sobre algumas hipóteses a respeito das causas das dificuldades dos estudantes com esse tipo de problema.

Em 2010 (CONGRESSO, 2010) encontraram-se quatro trabalhos: Do Carmo, Pontes e Pitonbeira (2010), da Universidade Federal do Ceará, descreve uma pesquisa realizada junto aos alunos das disciplinas de Planejamento e Controle da Produção e Logística do curso de Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal do Ceará, com o intuito de avaliar o perfil de aprendizagem destes alunos, confrontado com o desempenho obtido nas avaliações; Hippert, Nunes e Nazareth (2010), da Universidade Federal de Juiz de Fora, mostraram a contribuição dos estilos de aprendizagem Ativo/reflexivo, Sensorial/Intuitivo, Visual/Verbal ou Sequencial/Global, para a conclusão do curso de Engenharia Civil; Do Carmo, Barosso e Albertin (2010), da Universidade Federal do Ceará, avaliaram a percepção discente do aprendizado de Estatística, identificando dificuldades e deficiências para a aprendizagem, relacionando-as com as metodologias usadas pelos docentes; Loder (2010), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, expôs os resultados de uma investigação acerca do papel do estudante no contexto escolar e sobre os conhecimentos construídos em função desses papéis.

No ano de 2011 (CONGRESSO, 2011) havia quatro trabalhos: Punhagui e John (2011), da Universidade de São Paulo, apresentaram uma investigação sobre os fatores que podem vir a interferir no aprendizado de estudantes de Engenharia Civil dessa universidade; Almeida *et al.* (2011), da Universidade Federal do Vale do São Francisco, apresentaram uma análise dos aspectos psicológicos, na perspectiva de Piaget e a partir da Psicometria, sobre o processo de aprendizagem dos estudantes aprovados nos cursos de Engenharia dessa universidade, identificando aqueles que comprometem a aprendizagem; Bazzo *et al.* (2011), da Universidade Federal de Santa Catarina, questionaram a forma como os estudantes estudam, decorando conceitos sem compreender o que eles representam nem exercer seu poder reflexivo, sendo, portanto levados a um caminho de aprendizado apático; e Piemolini-

Barreto e Sandri (2011), da Universidade de Caxias do Sul, apresentaram uma avaliação dos estilos de aprendizagem, que são preferências e tendências que influem na maneira de aprender dos estudantes de Engenharia de Alimentos dessa universidade, destacando que os estilos predominantes são ativo, visual, sensorial e sequencial.

De modo geral, dentre os 2013 artigos submetidos aos cinco mais recentes congressos, foram encontrados 64 artigos, e dentre estes, apenas 14 artigos analisavam a aprendizagem pelo ponto de vista do estudante. Lembra-se ainda que foi encontrado somente um artigo que versava sobre a aprendizagem de circuitos elétricos, no entanto, não tratava de analisar os processos de compreensão sob o ponto de vista da epistemologia genética, como essa Tese, mas descrevia as explicações dos estudantes conforme três modelos, relacionados com os conceitos científicos.

O volume de publicações nos Congressos evidencia uma preocupação com a Educação em Engenharia, entretanto, esses artigos, na sua maioria, ainda estão centrados numa visão unilateral da educação, levando a pressupor que há uma priorização para as condições de ensino, o desempenho e os resultados, relegando-se a um segundo plano a aprendizagem, o que lembra Marques (2005, p. 124) ao afirmar que a educação centra-se sobre si mesma, tendo por objetivos a próxima matéria, série, exame ou vestibular e não a aprendizagem.

Essa escassez de artigos que analisem a aprendizagem sobre os circuitos elétricos permite supor que há ainda uma dificuldade predominante em se considerar a educação também sob a perspectiva do estudante, e, assim, aponta-se uma lacuna de investigação onde essa pesquisa possa vir a demonstrar seu ineditismo, colaborando então com o desenvolvimento de um outro ponto de vista sobre a Educação Científica e Tecnológica.

O próximo passo foi procurar no Banco de Teses e Dissertações da CAPES trabalhos sobre o ensino e a aprendizagem de circuitos elétricos e, assim, obteve-se uma seleção de 22 resumos de trabalhos. Através da leitura dos títulos e resumos, identificou-se quatro trabalhos que não versavam sobre circuitos elétricos, mas que foram selecionados pelo mecanismo de busca por conterem essas expressões nos seus textos.

Restaram, então, 18 resumos de trabalhos que foram relidos buscando-se conhecer a concepção de cada autor e o foco, a linha central, de cada texto, os quais foram divididos em dois grupos, um sobre ensino e outro sobre aprendizagem.

No primeiro grupo, foram incluídos 15 trabalhos que falavam sobre métodos de ensino na temática circuitos elétricos, em que os autores pressupõem, afirmam, demonstram e/ou concluem que o uso de determinado instrumento ou técnica pedagógica pode influir, ou influir, no rendimento escolar de quem estuda os circuitos elétricos. Esses trabalhos não serão

analisados nessa Tese visto que o objetivo aqui proposto é, exclusivamente, investigar o processo de construção do conhecimento de estudantes em circuitos elétricos lineares.

No segundo grupo, relativo à aprendizagem na temática circuitos elétricos, incluiu-se três trabalhos em que os autores analisam os processos, as concepções e as dificuldades de aprendizagem dos estudantes em circuitos elétricos, ou, ainda, procuram identificar fatores que poderiam influir nesses processos, trabalhos estes que resume-se a seguir.

Preocupado com as dificuldades de aprendizagem conceituais em circuitos elétricos, Gouveia (2007, p. 15) desenvolve sua investigação com a finalidade de verificar qual é o potencial da linguagem pictórica (desenhos livres) para incitar a explicação e apontar as dificuldades de compreensão dos alunos sobre circuitos elétricos, pois acredita que a linguagem simbólica é objeto central para a aprendizagem porque possui um código de regras que determinam o uso coordenado da representação dos conceitos científicos.

O autor pretendia construir mediações didáticas que permitissem reduzir o distanciamento entre as representações científicas de grande complexidade e o pensamento cotidiano, pois os desenhos livres, por serem representações pessoais, constituem-se em uma forma de linguagem mais próxima dos estudantes.

Segundo Gouveia (2007, p. 48), os sujeitos constroem conceitos com significados distantes do significado científico, que na literatura são denominados como concepções alternativas. Essas concepções, de acordo com Gouveia (2007, p. 21), são conhecimentos peculiares do sujeito, muito resistentes a mudanças, estando estruturadas na vivência diária e que, num primeiro momento, dão conta da maioria das explicações.

Em seu trabalho, Gouveia (2007, p. 49) apresenta um quadro das dificuldades conceituais (incompreensões) e concepções alternativas (não científicas) sobre conceitos de circuitos elétricos elementares, retirado dos estudos de Dorneles (2005, p. 17).

Por exemplo, com relação à corrente elétrica, Dorneles (2005, p. 17) fala de três tipos de dificuldades conceituais: a primeira é a incapacidade de identificar que a corrente em um componente ligado a uma fonte depende das características elétricas da fonte e desse componente; a segunda é a dificuldade de entender que a quantidade de cargas elétricas que adentram por um dos terminais de um determinado componente, em uma unidade de tempo, é a mesma quantidade de cargas elétricas que sai pelo outro terminal; a terceira é a de reconhecer que a intensidade da corrente elétrica não depende da ordem dos elementos no circuito elétrico e nem do sentido dessa corrente.

Quanto às concepções alternativas de corrente elétrica, Dorneles (2005, p. 17) apresenta quatro tipos: no primeiro, os sujeitos pensam que a bateria é uma fonte de corrente

constante; no segundo, pensam que a corrente diminui o seu valor numérico ao passar por uma resistência; no terceiro, os sujeitos acreditam que a ordem dos elementos no circuito e o sentido da corrente são relevantes; e, no quarto tipo, eles pressupõem que a fonte fornece os portadores de carga responsáveis pela corrente.

Gouveia (2007, p. 20) apresenta “uma proposta de utilizar desenhos dos alunos como orientação instrucional que potencialize a detecção de dificuldades conceituais em circuitos elétricos, apoiados na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel”. Assim, Gouveia (2007, p. 22) ao falar no Modelo de Mudança Conceitual, apresenta uma estratégia que, ao se apoiar na Teoria de Ausubel, “faz uso de analogias para desenvolver e estender as ideias prévias do aprendiz em direção ao ponto de vista científico, evitando o confronto direto com as concepções do aluno”.

A metodologia da pesquisa de Gouveia (2007, p. 56) constituiu-se, numa primeira etapa, na realização e análise de desenhos elaborados por 26 estudantes do terceiro ano do Ensino Médio sobre circuitos elétricos para as situações de curto-circuito, circuito aberto, associação em série e associação em paralelo. Numa segunda etapa, foram feitas entrevistas semiestruturadas, nas quais o autor os arguia tentando identificar, através das dificuldades de representação, os raciocínios incorretos, as dificuldades de compreensão conceituais e as concepções alternativas desses estudantes sobre o tema em questão.

Assim, Gouveia (2007, p. 89), da mesma forma que Dorneles (2005, p. 17), apresenta um quadro das dificuldades conceituais que detectou através dos desenhos livres dos alunos, no qual identifica diferentes tipos de complexidade de raciocínio.

Por exemplo, no que se refere às dificuldades conceituais expressas através da representação de curtos-circuitos, Gouveia (2007, p. 89) elenca cinco tipos: primeiro, a concepção de que a corrente é formada pela junção das cargas elétricas positivas e negativas; segundo, o fato de que, ao não compreender o funcionamento da chave liga-desliga, o sujeito estabelece um curto-circuito entre os terminais da bateria; terceiro, o fato de que o sujeito não compreende como fazer uma ligação em série; quarto, a dificuldade de efetuar uma ligação em série em uma disposição que facilite esse tipo de associação; e, como um quinto tipo, Gouveia cita a falta de atenção.

Gouveia (2007, p. 96) concluiu que o uso de desenhos elaborados pelos estudantes pode auxiliar a explicitar as suas dificuldades de compreensão e que é necessário priorizar o raciocínio qualitativo do estudante, ou seja, a compreensão dos conceitos, da mesma forma que Dorneles (2005, p. 10) afirmou que “mesmo com o uso sistemático do laboratório” observa-se que “a compreensão dos conceitos físicos básicos não atinge o nível desejado”, o

que leva a inferir que a compreensão dos estudantes não depende somente de estratégias pedagógicas.

Em Coelho (2007, p. 15), no que se refere à aprendizagem de circuitos elétricos, a autora tinha os seguintes objetivos: investigar a evolução dos modelos explicativos dos estudantes no terceiro nível de um currículo em espiral, assim como identificar o patamar de entendimento dos estudantes sobre os conceitos de circuitos elétricos simples.

Coelho (2007, p. 22) considera que as concepções alternativas são esquemas teóricos constituídos de ideias e conhecimentos parciais ou incompletos, que são concebidos pelos sujeitos para dar significado ao mundo, correspondendo a um pensamento “primitivo primordial para a construção de uma lógica formal que se encontra associada aos conceitos científicos” (COELHO, 2007, p. 24).

Como exemplo dessas concepções, em relação à corrente elétrica em um circuito elétrico simples, Coelho (2007, P. 36) cita quatro modelos: i) Modelo unipolar, quando o estudante só considera um polo da pilha; ii) Modelo de choque entre correntes, no qual o estudante considera que a lâmpada brilha quando a corrente que sai do polo positivo da pilha se choca com a corrente que sai do polo negativo; iii) Modelo de atenuação, no qual o estudante pensa que a corrente diminui de valor ao passar por cada um dos elementos do circuito; v) Modelo científico, no qual o estudante entende que a corrente sai de um terminal da pilha, passa por todos os elementos do circuito e retorna ao outro terminal da pilha com a mesma intensidade (mesmo valor).

Para validar o seu sistema categórico, Coelho (2007, p. 34) afirma ter utilizado o modelo estrutural cognitivo proposto por Collis *et al* (1998), denominado “Modelo SOLO” (*Structure of the Observed Learning Outcome*). Este modelo é baseado no conceito piagetiano de estágios e, na sua taxionomia, prevê que a progressão está relacionada a fatores como a maturação física (sistema neuronal), a interação com outras pessoas, o confronto com um novo problema, os conhecimentos prévios e o processo de escolarização.

Como instrumento de coleta de dados, Coelho (2007, p. 51) elaborou questões abertas contendo o desenho de um circuito elétrico simples, formado por uma pilha, três fios, um interruptor e uma lâmpada, solicitando ao sujeito que descrevesse tudo o que ocorria em cada um desses elementos quando a lâmpada estava acesa.

A coleta de dados foi realizada com 134 estudantes do terceiro ano do Ensino Médio em dois momentos distintos, no início e no final do ano letivo. Assim, Coelho (2007, p. 54) afirma ter se baseado nos modelos de eletricidade de Osborne (1983), Shipstone (1984) e Borges (1999), para identificar quatro modelos sobre circuitos elétricos, quais sejam: corrente

elétrica como fluxo; corrente elétrica como cargas em movimento; diferença de potencial da fonte como sendo a responsável pela corrente elétrica do circuito; e, o modelo microscópico.

Através da análise dessas respostas, Coelho (2007, p. 99) constatou que houve progresso dos modelos dos estudantes ao longo do período e que esse progresso poderia ser indício de aprendizagem devido às experiências feitas pelos sujeitos.

Já na sua Tese de Doutorado, Coelho (2011, p. 15) procurou investigar se os estudantes evoluem no entendimento dos conceitos de eletricidade ao longo de uma unidade de ensino de Física e, ainda, se determinados fatores contextuais, a que denominou preditores, tais como vocacionamento (curso, turma), gênero, nível socioeconômico e estado de engajamento comportamental, cognitivo e emocional do estudante, contribuem para explicar esta evolução.

Para coletar os dados, Coelho (2011, p. 17) procedeu a um estudo longitudinal com 152 estudantes do terceiro ano do Ensino Médio, no ano de 2008, mediante três ondas de dados (em três momentos distintos), abordando o entendimento sobre a natureza da corrente elétrica, transformações de energia e princípios de conservação envolvidos em um circuito elétrico elementar contendo pilha, fios, interruptor e lâmpada (COELHO, 2011, p. 60).

Nas duas primeiras ondas, os estudantes tinham que descrever tudo o que ocorria nos elementos desse circuito elétrico após a lâmpada ser ligada. Na terceira onda, os estudantes responderam a questões fechadas que exigiam respostas do tipo “Verdadeiro”, “Falso” ou “Não Sei” sobre conceitos e cálculos em um circuito elétrico semelhante ao apresentado nas duas primeiras ondas.

Para analisar o engajamento, Coelho (2011, p. 58) construiu instrumentos que abordavam conceitualização e características dos fenômenos, bem como aspectos dos circuitos elétricos, realizando as avaliações no final de cada aula, em três ondas.

Coelho (2011, p. 119) constatou uma evolução no entendimento dos conceitos de eletricidade, mas observou que, para isso ocorrer, não bastou somente o engajamento comportamental, foi necessário também o engajamento cognitivo durante as aulas, visto que esse fator contribuiu positivamente para uma maior aprendizagem em Física.

Na segunda etapa dessa busca, após a defesa do Projeto da Tese, verificou-se, em 18 de março de 2013, o endereço eletrônico da Revista Brasileira de Ensino de Física (www.sbfisica.org.br) utilizando-se as palavras-chave “ensino de circuitos elétricos” e “aprendizagem de circuitos elétricos”, mas nenhuma ocorrência foi localizada.

A seguir, a busca foi feita no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, onde foram encontrados dois endereços eletrônicos. Um deles apresentava os sumários desse periódico

onde, dos anos de 2007 a 2011 haviam 71 artigos, sendo que, destes, selecionou-se quatro através da leitura dos títulos, mas ao ler seus resumos verificou-se que somente um se referia ao tema de pesquisa. O outro endereço eletrônico era o portal da Universidade Federal de Santa Catarina que edita este periódico. Neste portal, efetuando-se a busca através das Palavras-chave “ensino de circuitos elétricos” e “aprendizagem de circuitos elétricos” foram localizados mais três artigos, e ao ler seus resumos verificou-se que somente dois se referiam ao tema de pesquisa, mas um deles estava baseado na dissertação de Gouveia (2007), alhures discutida.

Nos parágrafos seguintes apresenta-se um resumo destes dois artigos, iniciando pelo citado no endereço eletrônico dos sumários do Caderno Brasileiro de Ensino de Física.

Caramel e Pacca (2011, p. 10) investigaram as concepções dos estudantes da 3ª série do Ensino Médio e do 3º ano do curso de Licenciatura e Bacharelado em Química sobre as reações químicas de oxido-redução responsáveis pela geração de corrente elétrica que ocorrem em células eletroquímicas e eletrolíticas e as concepções sobre circulação de corrente elétrica do ponto de vista microscópico.

As concepções relacionadas com os objetivos dessa tese são aquelas que se referem à Circulação de Corrente, quais sejam: i) a concepção de que a energia do sistema flui em dois sentidos, do positivo para o negativo ou do negativo para o positivo; ii) a concepção de que a corrente é de natureza unicamente iônica, sendo que a movimentação dos íons se localiza tanto na solução química da pilha quanto nos fios; iii) a concepção de que a corrente elétrica circula devido às diferenças de carga, normalmente atribuída ao cátodo e ao ânodo; iv) a concepção que considera a condução no eletrólito como movimento dos elétrons.

Como esse artigo tinha uma abordagem focada nos fenômenos químicos e as respostas foram analisadas do ponto de vista de sua proximidade com o conhecimento científico, verificou-se que a contribuição deste trabalho para a tese ficou um pouco limitada somente ao conhecimento das concepções alternativas desses estudantes.

A seguir relata-se o trabalho encontrado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física no endereço eletrônico da Universidade Federal de Santa Catarina.

Pacca *et al* (2003, p. 155) estudaram as concepções de 200 alunos da 1ª, 2ª e 3ª série do Ensino Médio sobre corrente elétrica do ponto de vista da estrutura dos materiais e das fontes de energia, encontrando um conjunto de cinco categorias de concepções alternativas: i) a categoria “Energia, carga, força e eletricidade” na qual esses termos são utilizados indistintamente e os sujeitos alegam que a energia está no pólo positivo e que ela é produto de uma reação química, sem fornecer mais explicações; ii) a categoria “Duas correntes que se

opõem” na qual há uma suposição de que um fio leva a energia positiva da pilha e o outro fio leva a energia negativa, assim, o movimento de partículas é interrompido na lâmpada; iii) a categoria “Quebra de circuito” na qual a pilha é considerada como fonte de energia, os fios servem como condutores dessa energia, e o que faz a lâmpada acender é o encontro das cargas; iv) a categoria “Luz/faísca/curto-circuito” comporta a explicação que quando os pólos opostos se encontram ocorre um curto-circuito e explode produzindo uma faísca, logo, não há continuidade da corrente; v) a categoria “Expressões triviais sem significado aparente” contém termos que são utilizados indistintamente e sem significado científico.

As autoras concluíram que mesmo os estudantes observando um experimento o conceito de corrente elétrica foi difícil de ser compreendido e de ser relacionado à estrutura atômica dos materiais. Defendem que a utilização de categorias pode auxiliar na identificação de barreiras conceituais, erros, dificuldades de aprendizagem e concepções alternativas, bem como na construção do conhecimento científico.

No Portal de Periódicos da CAPES, fez-se uma busca por artigos através das palavras-chave: “ensino de circuitos elétricos” e “aprendizagem de circuitos elétricos” e obteve-se somente um artigo relacionado com o tema de pesquisa, no entanto, esse artigo estava baseado no mesmo tema da dissertação de Gouveia (2007), alhures apresentada.

Para acessar a produção internacional, no Portal de Periódicos da CAPES, foi feita uma busca avançada, nos cinco anos mais recentes, utilizando-se combinações entre as expressões *Learning, Teaching, Understanding, Knowledge, Learning of, Teaching of, Understanding of, Knowledge of, electric, electric, electrical, circuit, circuits*, em inglês, resultando em 48 possibilidades de palavras-chave, conforme Apêndice B – Combinações de Palavras-Chave. Assim, foram localizados sete artigos, dos quais somente três tinham alguma relação com o tema de pesquisa.

Küçüküzer e Kocakulah (2008), no resumo do seu trabalho, afirmam que seu objetivo era examinar os erros conceituais e mudanças de concepções de estudantes do primeiro ano do ensino médio, em circuitos elétricos simples, com um ensino baseado na teoria construtivista.

Os erros, as mudanças e o entendimento conceitual sobre o conceito de corrente foram avaliados através de entrevistas semi-estruturadas e questões abertas, aplicadas como um pré-teste no início do curso e como pós-teste, seis meses depois. Mais informações não puderam ser obtidas, pois esse trabalho só estava disponível na forma de resumo.

Oh (2011, p. 1139) tinha por objetivo explicitar o conflito entre a concepção alternativa do estudante e o conceito científico. Para isso usou, em sala de aula, um mapa de

conflito expandido, baseando-se nas estratégias do princípio Heurístico Lakatosiano, e tendo como objeto de estudo o efeito fotoelétrico.

O autor considera dois tipos de conflitos: primeiro, o conflito entre uma nova percepção e a concepção alternativa produzida pelo sujeito para responder a esta situação; segundo, o conflito entre a concepção alternativa produzida pelo sujeito e o conceito científico. Para resolver o primeiro tipo de conflito o autor sugere o uso de eventos contrários e para solucionar o segundo tipo de conflito o autor recomenda eventos críticos ou explicações que expliquem o conceito científico.

O mapa é utilizado para explicitar os conflitos e as possibilidades de conexões entre os dados para favorecer, mediante o uso de eventos contrários ou divergentes ou explicações, o rompimento do cinturão de proteção das concepções alternativas e assim integrar as estruturas de conhecimento do sujeito com o conhecimento científico.

Ao constatar que o conceito ingênuo, relativo à crença do sujeito, não muda diretamente, mas cria hipóteses auxiliares, o autor desenvolveu uma técnica para refinar esses conceitos que consiste basicamente de, a partir do entendimento que o sujeito possui do conceito (C1), apresentar-lhe um evento crítico ou uma explicação (C2) e um suporte perceptual através de exemplos ou fenômenos, para superar essa barreira.

O autor conclui afirmando que o mapa auxilia os estudantes a integrar o seu conhecimento prévio com novas teorias, dados do ambiente ou outros conceitos, da mesma forma que facilita o desenvolvimento das concepções científicas.

Guerra-Ramos (2011), no resumo do seu trabalho, demonstra preocupação com o aprendizado de circuitos elétricos por crianças de 8 a 9 anos, e assim defende que as analogias podem fazer a ciência ter sentido para o estudante, constituindo-se em ferramentas para auxiliar a transferência cognitiva. Este artigo estava disponível somente na forma de resumo.

Pelo fato de encontrar-se poucos artigos em inglês sobre o assunto, fez-se uma busca simples, no Portal de Periódicos da CAPES, com as seguintes palavras-chave: *Teaching of electric circuits* e *Learning of electric circuits*. Foram então encontrados 53 artigos dos quais selecionou-se, pelo título, nove artigos relacionados a ensino de circuitos elétricos e dez artigos sobre aprendizagem em circuitos elétricos, sendo que três artigos estavam nas duas classes, totalizando 16 artigos. Ao ler os resumos restaram oito arquivos que se julgou estarem mais relacionados com o tema de pesquisa, os quais descreve-se abaixo.

Godbey, Barnett e Webster (2005, p. 26) avaliaram o aprendizado e o engajamento dos estudantes do sexto grau de uma escola de Ensino Médio em duas versões de uma atividade

de laboratório: uma é a versão original com um roteiro de trabalho, a outra é uma versão da mesma atividade adaptada segundo uma abordagem mais investigativa.

Na versão original era proposto que os estudantes construíssem o circuito de uma bateria alimentando três lâmpadas em paralelo, sendo fornecidos um desenho e um roteiro passo-a-passo, e, então, após montar o circuito eles deveriam responder a uma série de perguntas sobre o que observaram.

Na versão revisada foi solicitado que eles investigassem outras formas de se conectar as lâmpadas à bateria, fazendo os desenhos e anotações sobre o brilho das lâmpadas. Na sequência o professor desenhou alguns dos circuitos dos estudantes no quadro e promoveu uma discussão sobre o seu funcionamento identificando erros de concepções, e, então, introduziu o conceito de circuito paralelo.

As duas versões foram comparadas sob três aspectos: o sucesso nas questões de avaliação, as respostas dos estudantes à pergunta sobre qual atividade gostaram ou não de fazer, e as observações feitas pelos monitores durante a execução das atividades.

Godbey, Barnett e Webster (2005, p. 29) concluíram que as duas versões têm a mesma efetividade no ensino dos conceitos de circuitos elétricos, no entanto, a versão investigativa apresenta a vantagem de engajar mais os estudantes.

Ballard e Hodgson-Drysdale (2011, p. 1) descrevem os resultados do aprendizado dos estudantes sobre conceitos em uma unidade de estudo na qual esses estudantes compartilham respostas à perguntas através de explicações escritas.

As atividades baseavam-se na solução de um problema, como acender uma lâmpada, e um novo conceito era introduzido a cada semana. No início e no final da unidade foi solicitado aos estudantes que explicassem como a eletricidade pode causar a iluminação da lâmpada, depois as respostas foram analisadas para verificar o que eles sabiam, como explicavam, como usavam a linguagem técnica e os verbos.

Verificou-se que os estudantes compartilhavam o entendimento e que houve uma melhor organização das ideias e melhoria no aprendizado dos conceitos e da linguagem verbal e técnica, embora alguns estudantes ainda não tenham conseguido demonstrar estes aprendizados no nível esperado para essa etapa. Fica como sugestão que esse tipo de atividade seja mais utilizado no ensino de conceitos científicos.

Licht (1991, p. 272) sugere uma abordagem alternativa para ensinar eletricidade na educação secundária baseada em níveis hierárquicos de conhecimento com regras de coerência e regularidade, que são os seguintes: i) nível 1: fundado na observação do fenômeno; ii) nível 2: analisa o fenômeno de forma macroscópica e qualitativa; iii) nível 3:

analisa o fenômeno de forma microscópica e qualitativa pela circulação dos elétrons; iv) nível 4: analisa o fenômeno de forma macroscópica e quantitativa calculando correntes, tensões e resistências; v) nível 5: analisa o fenômeno de forma microscópica e quantitativa calculando a energia dos elétrons.

O autor afirma que os estudantes apresentam as concepções alternativas citadas por Shipstone (1985a): i) considerar que a corrente depende somente da fonte, mas não do dispositivo que for ligado a ela; ii) acreditar que as malhas de um circuito são independentes umas em relação às outras; iii) não distinguir a diferença e a relação entre tensão, corrente, energia e potência; iv) pensar que resistências de maior valor consomem mais energia.

Por fim, o autor defende que o currículo deve promover um progresso gradual do aprendizado de acordo com os níveis hierárquicos de conhecimento, evoluindo na direção de conceitos mais abstratos e mais complexos, mas considerando as concepções alternativas dos estudantes. Conclui que deve-se incentivá-los a estabelecerem relações entre os macro e os micro aspectos do conhecimento, a fim de melhorar o entendimento conceitual.

Johnstone e Mughol (1978, p. 46) analisaram a compreensão do conceito de resistência elétrica em relação à tensão, corrente, comprimento e área de seção transversal do condutor, isolante e carga elétrica, considerando os seus diferentes níveis de evolução.

Utilizando um diagrama *Path* os autores fizeram uma entrevista para verificar as concepções sobre estes conceitos de 800 estudantes ao todo, do 2º até o 5º ano. Estes foram divididos em grupos de seis, sendo arguidos com o uso de uma grade contendo 16 desenhos de circuitos que deveriam ser montados em placas de circuitos.

Os autores chegaram às seguintes conclusões: i) crianças de todos os níveis conhecem os símbolos dos circuitos elétricos; ii) todas sabem da necessidade de fechar o circuito para a corrente circular; iii) em alguns níveis existe confusão entre tensão e potência; iv) a metade das crianças do nível júnior e 3/4 dos seniores sabem que há diferença entre tensão e corrente, mas poucos sabem explicar; v) entre 80% e 90% das crianças sabem que tensão e corrente são diretamente proporcionais; vi) 70% dos júnior e 90% dos seniores sabem que o comprimento do fio é diretamente proporcional à sua resistência; vii) 25% dos júnior e 70% dos seniores sabem que a área de seção transversal do fio é inversamente proporcional à sua resistência; viii) somente no 5º ano é que a maioria das crianças sabem que a área de seção transversal de um fio é inversamente proporcional à sua resistência.

Baseando-se na obra de Inhelder e Piaget (1958), os autores afirmam que os sujeitos só estão habilitados a compreender adequadamente o conceito de resistência a partir dos 17 anos, quando, então, puderem executar operações mais complexas.

Frederiksen, White e Gutwill (1999, p. 806) analisaram como os estudantes explicam e resolvem problemas em um experimento de ensino em eletricidade elaborado com base nos modelos de compreensão dos fenômenos físicos.

Os autores afirmam ter se baseado nas pesquisas de White, Frederiksen e Spoehr, (1990 a 1993) que propuseram dois tipos de modelos: os modelos de nível baixo, que estão centrados em análises e raciocínio causal sobre objetos e os modelos de nível alto, que focam em representações mais abstratas e nas relações entre elas.

Eles consideram que um modelo de nível inferior (fonte) possa servir de referência para um modelo de nível superior (derivado) desde que: i) o modelo fonte seja compreensível; ii) os estudantes aprendam o modelo fonte e consigam executá-lo; (c) o modelo derivado esteja conceitualmente ligado ao modelo fonte.

O experimento consta de simulações em computador dos seguintes modelos: o modelo de partícula, o modelo agregado e o modelo algébrico.

Os autores citam o Modelo de Partículas, elaborado por Frederiksen e White (1992) e White *et al.* (1993), onde duas áreas condutivas contêm elétrons distribuídos aleatoriamente. À medida que a simulação é executada, os elétrons repelem-se uns aos outros e vão se espalhando, representando uma versão da Lei de Ohm, denominada de “equação de fluxo”.

No Modelo Agregado, ao invés de se referir à partículas individuais, adota-se o conceito de carga elétrica total ($I=K.\Delta V$) para facilitar aos estudantes relacionarem esse cálculo com a equação do fluxo estabelecida anteriormente.

O Modelo Algébrico irá incorporar as leis quantitativas de circuitos de corrente contínua incluindo a Lei de Ohm, as fórmulas para resistência em série e em paralelo, as fórmulas de divisores de tensão, Lei das tensões de Kirchhoff e Lei das correntes de Kirchhoff, bem como a noção de estado de equilíbrio dinâmico.

Os autores defendem que, para haver compreensão os alunos precisam realizar a derivação de um modelo ao outro, isso quer dizer aprender a pensar nas tensões em função das cargas, reconhecer o princípio causal de que a corrente elétrica é produzida pelas diferenças de tensões, interpretar esses conceitos segundo o modelo de partículas e compreender as tensões e correntes no estado estacionário.

Participaram desse estudo 32 alunos do ensino médio, na série 10 ou 11, que haviam feito um curso de ciências. Todos os estudantes trabalharam com o modelo agregado, no entanto, foram criados dois grupos: i) o grupo transitório, no qual os estudantes simularam dinamicamente os fluxos de corrente; ii) o grupo estacionário, no qual os estudantes simularam somente a condição inicial e a condição final.

Frederiksen, White e Gutwill (1999, p. 835) constataram que os alunos no grupo transitório foram mais flexíveis no uso das equações e as compreenderam melhor e assim criaram soluções em vez de seguir de forma mecânica o que foi ensinado. Por outro lado, apesar de os estudantes do estado estacionário fazerem cálculos corretos, eles confundiram as quantidades e perderam a noção de como elas seriam combinadas.

Por fim os autores concluíram que: i) é importante saber derivar vínculos entre os modelos; ii) entender as origens da teoria ajuda a saber aplicar as leis do circuito; iii) raciocinar sobre o comportamento dos circuitos auxilia no aprendizado das relações entre a eletrostática e a eletrodinâmica; iv) houve uma melhor compreensão do circuito como uma sequência de eventos de causa e efeito que obedecem às leis da física; v) pode-se constatar como as leis de circuito emergem desses processos interativos; vi) o entendimento sobre esses processos levou a um melhor desempenho na resolução de problemas; vii) melhorou a compreensão dos modelos; viii) ficou estabelecido como os modelos podem ser coerentemente ligados; ix) houve uma compreensão da natureza dos modelos de nível superior como uma aplicação das propriedades dos modelos de nível mais baixo.

Chasseigne *et al.* (2011, p. 1) investigaram as concepções iniciais dos estudantes sobre as relações entre diferença de potencial, corrente e resistência. Os autores informam que seu estudo tinha quatro objetivos: i) verificar os resultados do instrumento criado por Liégeois *et al.* (2003) para inferir resistência a partir da diferença de potencial e da corrente; ii) examinar a relação entre a aprendizagem de eletricidade e o desempenho neste teste; iii) verificar a duração da aprendizagem; iv) examinar a relação entre a habilidade de inferir resistência, a partir da diferença de potencial e da corrente e a habilidade de resolver problemas sobre esse tema.

O instrumento consistia de problemas, como calcular a resistência de um resistor dados a diferença de potencial nas duas extremidades e a corrente. A aplicação ocorreu em sete sessões: primeiro uma sessão de familiarização, depois três sessões de teste, duas sessões de aprendizagem, e, cinco semanas depois, outra sessão de teste.

Foram entrevistados 73 estudantes (36 meninas e 37 meninos), de idades e níveis de escolaridade variados, incluindo estudantes de sétimo ano, nono ano, décimo primeiro ano (de escolas técnicas) e universitários.

Os autores concluíram que: i) o instrumento pode caracterizar as concepções dos estudantes sobre as relações entre diferença de potencial, corrente e resistência; ii) essas concepções são muito diversas e distantes do conceito científico; iii) as sessões foram mais efetivas para os que já conheciam a Lei de Ohm; iv) a aprendizagem tem efeitos duradouros, principalmente para estudantes com mais idade; v) houve uma correspondência entre a

aprendizagem dessas relações e a habilidade de resolver problemas que as envolvam; vi) é mais difícil aprender a regra da divisão do que a da multiplicação.

Hart (2008, p. 529) tinha por objetivo verificar a compreensão dos modelos consensuais realistas (modelos científicos) por parte dos estudantes. Para tanto, a autora fez uma comparação teórica dos modelos científicos com os modelos de ensino em eletricidade, estabeleceu os critérios e limites de validade e por último apresentou e avaliou uma proposta de modelo a qual denomina de “Smarties”.

A autora lembra que educadores como Mulhall, Mckittrick e Gunstone (2001, p. 578) e Stockmayer e Treagust (1996) defendem que somente o modelo do campo elétrico pode responder à pergunta sobre como a corrente “sabe” da presença de um pólo adiante e por isso, somente esse modelo possibilita o raciocínio correto sobre os circuitos elétricos. Ela também argumenta que as definições formais matemáticas, por si só, podem não ajudar, e, até mesmo, serem alienantes.

Assim, para verificar se um modelo pode ser usado para propósitos de ensino a autora propõe que ele deverá: i) ser inteligível, plausível, frutífero, desafiador, e ainda sugerir questões e experimentos; ii) conter um mecanismo causal significativo; iii) permitir a emersão de dificuldades conceituais e erros de concepção; iv) envolver a imaginação e o intelecto dos estudantes, bem como incentivar o professor a guia-los nessa direção; v) permitir aos estudantes entender os modelos consensuais da ciência; vi) ser abertamente apresentado e prover uma reflexão sobre seu propósito, seus limites, seus compromissos epistemológicos e suas suposições ontológicas; etc.; vii) ter potencial hermenêutico, podendo ser interpretado, ou lido de diversos modos.

A autora afirma ter utilizado o modelo que denominou de Smarties, que consistia em fazer um globo de luz com uma bateria, depois os sujeitos teriam que explicar porque algumas conexões funcionavam e outras não, e porque o filamento do globo brilhava, mas os fios não.

A coleta de dados ocorreu em workshops com um grupo de 26 professores de biologia que ensinavam física em um programa de ciência para crianças de 7 a 16 anos e que estavam matriculados num curso de pós-graduação em Ciências da Educação (na área de Física), mas que não tinham um conhecimento aprofundado de física.

A autora verificou que o modelo do campo elétrico é muito sofisticado e altamente abstrato, e, assim, poderia se fazer inacessível para os estudantes iniciantes. Assim, sugere que seja utilizado o modelo do transporte no início até que, em algum estágio posterior, seja reconhecido que esse modelo não pode suportar os sete critérios, ou seja, não responde mais o problema de “como o elétron sabe”, e então, seja introduzido o modelo de campo.

Com base nas suas investigações Hart (2008, p. 541) observou que enquanto o professor atenta às dificuldades conceituais ele não consegue perceber que os aprendizes estão necessitando das bases ontológicas das explicações científicas, para poder compreendê-las.

Por fim, a autora defende que faz parte da educação ajudar os estudantes a entenderem e usarem os modelos consensuais da ciência, identificar o que torna um modelo de ensino efetivo, reconhecer que os modelos consensuais nem sempre se mostram bons como modelos de ensino, usar modelos para ajudar os estudantes a verem dentro do coração ontológico da ciência compreendendo as explicações científicas, e, reconhecer que as suposições são as fontes tanto das fraquezas quanto das forças de nosso conhecimento.

Shipstone (1988, p. 92) relata pesquisas sobre modelos de aprendizagem de conceitos de circuitos elétricos, corrente e energia elétrica, e suas implicações para a educação.

Conforme esse autor existem os seguintes modelos: i) modelo de atenuação: segundo ele a corrente segue em apenas uma direção, saindo de um terminal para o outro e se houver vários componentes em série, o último receberá menos corrente; ii) modelo do compartilhamento, segundo o qual a corrente em todos os componentes é a mesma; iii) modelo sequencial, no qual as mudanças em um circuito são levadas pelo sentido da corrente, mas não ao contrário; iv) um modelo em que a bateria é vista como uma fonte de corrente, a qual não é afetada pela resistência do circuito. Segundo o autor, os estudantes também confundem o conceito de corrente com o de energia.

O autor comenta que Cosgrove, Osborne e Carr (1985) criaram um método para facilitar a mudança de concepção, ao qual denominaram de conflito cognitivo, que é dividido em três fases: i) a familiarização, na qual é feita uma introdução aos materiais (circuitos, lâmpadas, etc.) e aos fenômenos elétricos, relacionando-os com o dia-a-dia; ii) o desafio, no qual devem se fazer as previsões sobre o circuito; iii) a aplicação, quando é buscado o entendimento através do teste de hipóteses, discussões e introdução de analogias.

O método foi utilizado com crianças de 11 anos com rendimento escolar acima da média, verificando-se que 86% passaram a acreditar no conceito de corrente elétrica, porém quando o estudo foi novamente aplicado, esse índice caiu para 47%.

O autor relata ainda um estudo que fez com Gunstone no Reino Unido (SHIPSTONE e GUNSTONE, 1985) em que tentaram trabalhar o problema de considerar a corrente elétrica como energia elétrica, através de testes feitos com crianças de 12 a 13 anos. Primeiro apresentaram os conceitos para que os estudantes se familiarizassem. Depois, solicitaram que as crianças fizessem medidas de corrente em circuitos paralelos.

Como resultado, 78% dos estudantes adotaram o conceito de corrente, porém algum tempo depois 50% o abandonaram em favor de suas crenças antigas, levando os autores a pensar que eles adquiriram um conhecimento superficial, ou que aparentaram entender, ou que não possuíam confiança na resposta, ou que não encontraram necessidade de aplicar.

Por fim, o autor conclui que o modelamento de eletricidade deve ser introduzido somente após o estágio elementar e que existem boas razões para se acreditar que apenas em estágios mais avançados, como o universitário, os sujeitos conseguirão destinar atenção aos circuitos, pois somente então é que poderão dar um significado.

A seguir apresenta-se artigos de Fontes Diversas, alguns recebidos e outros localizados através de referências que estavam presentes naqueles artigos que foram encontrados nos endereços citados anteriormente, e que se considerou relevantes para a investigação desenvolvida nessa Tese, totalizando mais sete artigos.

Stetzer *et al.* (2013, p. 134) tinham por objetivo investigar como as dificuldades de aprendizagem do estudante com o conceito de circuito completo (fechado) impactam no seu desempenho no estudo de circuitos elétricos mais complexos.

Os autores comentam que em um estudo feito na Universidade de Washington (UW) apenas 45% dos alunos que completaram um curso introdutório de física conseguiram ligar uma lâmpada com uma bateria e um único fio, supostamente indicando uma falta de entendimento no conceito de circuito fechado.

Em suas investigações anteriores os autores constataram que muitos alunos acreditavam que a corrente era “consumida”, assim os componentes que estivessem mais perto do positivo da bateria receberiam mais corrente e os outros componentes ficariam com o que sobrava. Outros estudantes consideravam a bateria como uma fonte de corrente constante e independente da resistência colocada no circuito.

Esse trabalho foi realizado durante cinco anos, com 100 a 200 alunos de cursos universitários nas disciplinas de eletricidade e magnetismo, da Universidade de Washington, bem como graduados em cursos que envolvem eletrônica, e assistentes de ensino (TAs) de um Seminário de Pós-Graduação.

Na primeira questão foi solicitado que os estudantes desenhassem um circuito com uma bateria e uma lâmpada e que a lâmpada deveria acender. Na segunda questão, foram apresentados três tipos de circuito contendo diferentes ligações entre a bateria e a lâmpada e foi questionado em quais dos três circuitos a lâmpada acenderia. A terceira questão continha um circuito em série com três baterias e com três lâmpadas, todas idênticas e ideais, e foi questionado sobre a intensidade luminosa das lâmpadas.

Essa investigação revelou que, dos estudantes do curso introdutório de física: i) entre um terço e um meio não entenderam o funcionamento dos circuitos fechados; ii) somente cerca da metade conseguiram esquematizar um circuito fechado antes de serem ensinados; iii) cerca de um terço não conseguiu aplicar o conceito corretamente; iv) entre um meio e dois terços demonstraram conhecimento do circuito fechado.

Os resultados das questões sugerem que: i) os estudantes definem de modo incorreto o circuito fechado; ii) os estudantes têm dificuldades com o conceito de circuito fechado e com o conceito de conservação da corrente; iii) um terço dos estudantes da classe introdutória não entenderam a conservação de corrente; iv) as dificuldades são persistentes e endereçadas pela instrução tradicional; v) somente 45% dos TAs demonstraram entender os circuitos com duas baterias; vi) existem dificuldades mesmo entre os melhores alunos de pós-graduação; vii) a maioria dos estudantes universitários não entenderam o circuito fechado e, frequentemente não usaram a conservação de corrente; viii) as lições, temas e experiências de laboratório não foram suficientes para ajudar os estudantes a entender o circuito fechado.

Por fim, os autores defendem a necessidade de um refinamento do conceito de circuito fechado bem como de apropriações mais generalizadas, e sugerem que a inclusão de questões sobre circuitos com várias baterias no curso introdutório ajude os estudantes a melhor compreender o circuito fechado e a conservação da corrente.

Smith e van Kampen (2013, p. 389) tinham por objetivo investigar o entendimento de circuitos em corrente contínua (DC) com capacitor expressos através do modelo fenomenológico apresentado pelos estudantes.

Os autores afirmaram que, com base nos estudos de Newburgh (1993), poder-se-ia supor que mesmo os estudantes mais aptos não conseguiriam explicar de forma qualitativa os circuitos RC, se limitando a recorrer a fórmulas. Assim, criaram um experimento no qual os estudantes deveriam construir um modelo fenomenológico para comparar o capacitor com componentes que eles já conheciam como fios, interruptores e baterias.

Esse trabalho envolveu grupos de 20, 17 e 14 professores de ciências do ensino fundamental e médio, e foi feito através de uma seqüência pré-teste/experimento/pós-teste para os circuitos RC em série, e depois para os circuitos RC em paralelo.

O circuito RC série consistia de uma lâmpada e um capacitor, no qual os estudantes deveriam pensar porque o brilho da lâmpada muda e qual sua relação com as quedas de tensões nos componentes.

A maioria dos estudantes disse que o capacitor funcionava como um fio no momento em que o interruptor era fechado e que se comportava como um isolante após o interruptor

estar aberto por um longo tempo, mas quase nenhum estudante relacionou o comportamento do capacitor com o de uma bateria.

Depois foi solicitado que os sujeitos removessem a bateria, conectassem os fios e medissem as tensões, e então muitos perceberam que poderiam comparar o capacitor descarregado com um fio e o capacitor carregado com uma bateria.

Nos últimos dois circuitos série do experimento, os estudantes investigaram o comportamento do capacitor quando está conectado, primeiro, a uma bateria, e depois (sem descarregar) a duas baterias em série. Os estudantes constataram então que o capacitor se carrega até um valor de tensão igual ao da soma das baterias e deduziram que o capacitor pode ser modelado como uma bateria de tensão variável.

No pós-teste dos circuitos série, verificou-se que houve uma melhora em relação aos resultados do pré-teste, pois três quartos dos estudantes responderam corretamente às duas questões, quase todos com explicação completas e corretas.

O experimento paralelo consistia de um conjunto de uma lâmpada em paralelo com um capacitor, e esse conjunto ligado em série com outra lâmpada à bateria, no qual se poderia verificar o modelo do capacitor se comportando como um fio quando o circuito é ligado e do capacitor se comportando como uma bateria após um tempo maior.

Os autores verificaram que houve uma melhora no pensamento qualitativo, pois as respostas corretas aumentaram de 10% para 95% e as explicações corretas aumentaram em 50%. Outro ponto a destacar foi que os estudantes puderam corrigir suas respostas e fazer generalizações corretas baseadas nas suas observações.

Finalmente, os autores concluíram que uma aula de circuitos RC série, mesmo se seguida por um experimento, pode melhorar a argumentação qualitativa, mas não é suficiente para garantir o entendimento dos circuitos RC. Entretanto, comprovaram que o uso do experimento proporcionou que a maioria dos estudantes se tornasse apta a argumentar qualitativa e corretamente sobre os circuitos RC.

Dega, Kiek e Mogese (2013, p. 2) investigaram as mudanças conceituais dos estudantes do primeiro ano de física de uma universidade na Etiópia, através da questão: Quão significativa é a mudança conceitual comparando Simulação de Perturbação Cognitiva (CPS) com Simulação de Conflito Cognitivo (CCS) no que diz respeito aos conceitos de Energia e Potencial Elétrico (EPE) e Indução Eletromagnética (EMI)?

Os autores afirmaram que seu estudo se baseou em Posner *et al.* (1982), que defendem que o aprendizado ocorre quando os estudantes reconhecem uma necessidade e ficam

insatisfeitos com suas ideias e que sugerem que se crie um conflito cognitivo para que os estudantes possam alcançar os conceitos científicos.

No entanto, os autores advertem que o conflito cognitivo oferece limitações quando os estudantes: i) tiverem pouco conhecimento sobre o assunto; ii) possuírem pouca habilidade para reconhecer e resolver o conflito; iii) relutarem em abandonar suas ideias; iv) tiverem dificuldades em entender os conceitos científicos por não ter relação com suas experiências; v) verem as opções de respostas como inconsistentes.

Os autores afirmam que Li, Law e Lui (2006) apresentaram uma abordagem sobre o conflito cognitivo baseada na teoria construtivista que possibilita que os estudantes troquem suas ideias via conceitos intermediários entre os seus e os científicos, a qual denominaram como perturbação cognitiva.

Em seu estudo, Dega, Kiek e Mogese (2013, p. 11) utilizaram um experimento que consistia de simulações para investigar as trocas conceituais e comparar essas duas maneiras construtivistas de ensino: a perturbação cognitiva (CPS) e o conflito cognitivo (CCS).

A amostra incluiu 45 estudantes do primeiro ano de física (entre 18 e 23 anos), no ano de 2011, em uma universidade da Etiópia, sendo divididos em duas turmas.

Os autores explicam que no pré e pós-teste foi utilizado um teste sobre Eletricidade e Magnetismo contendo 30 questões, que versavam sobre as ideias dos estudantes sobre esses temas, com cinco opções de resposta em cada, sendo 16 de EPE e 14 de EMI.

Na turma de CCS pediram para que os estudantes previssem o resultado da simulação. Assim, ao executarem essas simulações, foi criado um conflito em virtude dos resultados serem diferentes dos previstos. Para resolvê-los, os pesquisadores os guiaram a abandonar suas concepções alternativas e substituí-las pelas ideias científicas.

Na turma CPS os sujeitos não precisaram prever os resultados, apenas tinham que fazer simulações em três fases: empreendimento, apresentação e refino. Assim, foram sendo desafiados e levados passo a passo na direção das concepções científicas. A estratégia da perturbação foi aplicada através de explicações, suporte pedagógico e interações aluno-aluno, trabalhando-se com as alternativas conceituais elaboradas pelos alunos e não contra elas.

Com esse estudo os autores concluíram que: i) para estudantes com baixa performance o CPS é mais útil que o CCS; ii) os métodos evolucionários são mais apropriados por serem graduais; iii) as ideias inapropriadas, que são identificadas pelo baixo conhecimento conceitual prévio, têm impacto negativo na troca de conceitos pois limitam o engajamento na aprendizagem de novas idéias.

Greca e Moreira (1997, p. 715) investigaram os níveis de representação mental nos quais os estudantes do segundo ano de engenharia, no ano de 1994, operavam em relação aos conceitos físicos de campo, particularmente no eletromagnetismo, partindo da premissa de que na maioria das vezes, esse assunto é abordado com ênfase na representação matemática e não no fenômeno físico, o que dificulta a compreensão.

Segundo Greca e Moreira (1997, p. 712), se as pessoas constroem representações, é possível que o estudo das estruturas dessas representações forneça um entendimento sobre a aprendizagem de novas estruturas conceituais. Greca e Moreira (1997, p. 711) afirmam que De Kleer e Brown (1983) defendem tanto a existência de elementos que são ponto de partida, como a necessidade da construção de uma nova estrutura conceitual, e ainda lembram que Nersessian (1992a) defende que esse processo requer mais do que uma insatisfação com a estrutura atual.

Conforme dizem Greca e Moreira (1997, p. 712) a base de seu estudo é a Teoria da Representação Mental de Johnson-Laird (1983, 1990), a qual afirma existirem três tipos principais de representações mentais: i) os modelos mentais, que são construídos através da percepção, por analogia ou por imaginação. Eles são estruturas análogas do mundo, pelas quais entende-se o mundo, fazem-se predições e explicações, podendo ser basicamente proposicionais ou basear-se em imagens, ou ambos; ii) as representações proposicionais que são conjuntos de símbolos que correspondem à linguagem natural; iii) as imagens que são correlatos perceptivos resultantes da percepção, de analogias ou da imaginação, e que representam as características perceptíveis do objeto real.

Na visão dos autores compreender um fenômeno físico, além de definições, princípios e formulações matemáticas, significa saber o que ele faz, o que resulta dele, como iniciá-lo, como influenciá-lo ou como evitá-lo. Conforme esses autores, isso corresponde, na linguagem de Johnson-Laird, a ter um modelo de trabalho do fenômeno. Assim, a capacidade dos estudantes para a compreensão de uma teoria científica é demonstrada pela sua habilidade na construção de modelos que incluem as relações fundamentais de tal teoria e as previsões que se seguem a partir das concepções científicas aceitas.

Greca e Moreira (1997, p. 714) afirmam que, segundo Nersessian (1992b), a introdução de uma teoria científica não significa, necessariamente, a sua construção e compreensão com a mesma lógica. Segundo esses mesmos autores, Pozo (1994), estabelece que é possível que os estudantes interpretem as proposições científicas (definições e leis) de acordo com um modelo que talvez não seja o científico, isto é, segundo uma concepção alternativa. Para os autores essas concepções podem ser de origem sensorial ou cultural,

estabelecidas por analogias, induzidas pelo ensino, assimiladas por suas próprias ideias e crenças, ou ainda provindas de um raciocínio centrado nos objetos no tempo real e não em modelos mais virtuais.

A investigação apresentada pelos autores foi realizada através da resolução de questões propostas em guias de estudo e em questionários; de observações feitas durante discussões com os alunos; de avaliações escritas sobre problemas de física; de experimentos de laboratório; da elaboração de mapas conceituais; e, de entrevistas individuais no final do curso.

Na investigação feita no primeiro semestre foram estabelecidas duas categorias: a categoria A, que consistia de modelos proposicionais, onde foi constatada uma boa habilidade no uso de fórmulas e definições e de modelos analógicos, que se caracterizavam pelo uso de exemplos e desenhos; e, a categoria B, onde não era evidenciada a existência de modelos, mas, apenas, representações proposicionais, não integradas em um modelo.

No segundo semestre foram identificadas cinco categorias, duas relacionadas à categoria A, duas à B, e uma de transição entre elas, como segue: i) a categoria 1 consiste de representações proposicionais referentes a fórmulas e definições, sem articulação entre o conceito e os mapas, parecendo que os sujeitos não compreenderam o significado das linhas de força; ii) na categoria 2, as representações proposicionais se expressam através de fórmulas, definições e algoritmos eficientes para a resolução de problemas, sem, no entanto, integrá-los num modelo físico; iii) na categoria 3, de transição, aparecem modelos primitivos que envolvem imagens associadas a conceitos. Há evidências de uma boa articulação conceitual e de uma explicação aprimorada dos fenômenos. Parece que apesar de não entenderem o significado do campo eletromagnético os estudantes entenderam como ele “trabalha”; iv) na categoria 4, os modelos mentais de campo ainda apresentaram pouca diferenciação entre os conceitos e/ou integração em conceitos gerais; v) a categoria 5 constitui-se de modelos que correspondem aos usados por especialistas em física. A resolução de problemas foi eficiente e as previsões foram bastante sensatas, evidenciando a formação de um conceito mais geral de campo e uma compreensão física.

Por fim, Greca e Moreira (1997, p. 722) concluem que a maioria dos estudantes trabalha principalmente com proposições que não estão relacionadas ou não são interpretadas de acordo com os modelos mentais, visto que são apenas definições e fórmulas manipuladas com a intenção de resolver os problemas. Entretanto, há alguns estudantes que fornecem evidências de haverem construído algum modelo, pois seus conceitos são mais significativos

e organizados, e outros que organizam apenas alguns conceitos em termos de modelos mentais operacionais.

Os autores advertem que, como os problemas tradicionalmente propostos em física avaliam apenas habilidades matemáticas, a compreensão dos fenômenos físicos e o consequente desenvolvimento de modelos não parece ser necessários para a maioria dos estudantes, logo eles trabalham apenas com proposições, desenvolvendo algoritmos eficientes para a resolução desses problemas.

Borges (1999, p. 85) teve como objetivo verificar como os modelos mentais evoluem à medida que os sujeitos adquirem maior compreensão conceitual e experiência.

Nesse artigo o autor baseou-se no seu estudo, feito com seis grupos de sujeitos, entre estudantes da primeira e terceira série do ensino médio, estudantes do terceiro ano do curso técnico em eletrônica, engenheiros eletricitas, professores de física e eletricitas, num total de 56 sujeitos. Neste resumo só serão comentados os resultados referentes aos modelos que possuem relação direta com o tema dessa tese.

O experimento consistia de pilhas, lâmpadas, ímãs e amostras de materiais de uso cotidiano e no início o sujeito deveria fazer previsões justificadas sobre o resultado das atividades. Depois o experimento era realizado e então o sujeito deveria explicar o acordo ou desacordo entre a previsão e o resultado. Segundo o autor a investigação baseou-se no método apresentado por White e Gunstone (1992) para coletar informações sobre os modelos mentais dos sujeitos através de previsão, observação e explicação.

Conforme Borges (1999, p. 93) “Diferentemente de pesquisas anteriores (Shipstone, 1985b; Osborne, 1983) que enfatizaram a forma de conexão de componentes elétricos num circuito, aqui a preocupação é de outra ordem”. Assim, o autor descreve os seguintes modelos relacionados à natureza da corrente elétrica: i) eletricidade como fluxo: quando a bateria é considerada como um recipiente que armazena uma substância que se move pelo circuito, sendo então consumida para produzir luz nas lâmpadas; ii) eletricidade como correntes opostas: quando os sujeitos consideram que existem duas correntes que saem cada uma por um terminal da pilha e se encontram na lâmpada produzindo luz e então desaparecendo; iii) eletricidade como cargas em movimento: quando considera-se que as cargas elétricas movem-se de um terminal da pilha para o outro; iv) modelo científico: quando a corrente circula num circuito fechado e é conservada, sendo descrita por cargas elétricas em movimento sob uma diferença de potencial, a qual cria um campo elétrico. Nesse modelo qualquer mudança em um ponto do circuito produz uma perturbação que se propaga estabelecendo uma nova situação estacionária.

Para explicar como os modelos evoluem, Borges (1999, p. 98) afirma que “o esquema de análise seguido aqui, baseia-se na análise desenvolvida por Piaget e Garcia (1989) sobre a passagem de um dado nível de conhecimento para outro mais sofisticado na história de ciência e do indivíduo”. Para tanto, Borges (1999, p. 99) considera em seu trabalho que a sequência “INTRA, INTER e TRANS, constitui o ponto de partida para essa análise, embora resultando em quatro níveis”.

Assim, na investigação de Borges (1999, p. 99) o nível 1 se caracteriza pela indistinção conceitual, não consideração da necessidade do circuito ser fechado para a corrente circular, não saber explicar o funcionamento do circuito, representações simplificadas e explicações baseadas em atributos intrínsecos e salientes dos objetos.

O nível 2 constitui-se de explicações relativas à entidades e estruturas simples, capacidades dos materiais, ideias gerais, sequências temporais de eventos discretos e indiferenciação entre conceitos. Não há noção da relação causal entre objetos e por isso atribui-se as causas às ações dos objetos e não às relações. O sujeito não percebe suas ações. Prevalece a noção de eletricidade como correntes opostas e do choque de cargas, e a de corrente como saltos de partículas entre átomos contíguos.

No nível 3 os sujeitos conseguem descrever explicitamente o funcionamento dos sistemas e os processos de forma microscópica, embora usem descrições mecanicistas e continuem a se expressar em termos de sequências temporais de eventos.

Finalmente, no nível 4, os sujeitos utilizam explicações mais abstratas como o conceito de campo e modelos qualitativos e microscópicos que relacionam a ação do campo elétrico sobre os elétrons livres e a correspondente transferência de energia cinética desses elétrons em movimento para a rede cristalina.

Borges (1999, p. 122) então conclui que o estudante só consegue ver um fenômeno com outra perspectiva quando ele conseguir enriquecer os modelos que usa, incluindo novos elementos ausentes no antigo modelo. Assim, em sua opinião, as estratégias de ensino devem ter como objetivo auxiliar os estudantes a construir modelos melhores, considerando as dimensões nas quais esses modelos evoluem.

Por fim, o autor defende que para haver uma melhor compreensão conceitual do fenômeno é necessário: o uso explícito de vocabulário específico; o detalhamento das partes do sistema e de suas relações; uma maior clareza no uso dos modelos utilizados nas explicações, bem como das informações exibidas no modelo.

O artigo de Duit e Von Rhöneck (1997, p. 1) tinha por objetivo discutir as concepções dos estudantes sobre eletricidade e suas dificuldades de aprendizagem, tais como: i) a

concepção do efeito causal linear que considera que a eletricidade ou a corrente são armazenadas na fonte ou nos fios e consumidas no dispositivo a ser alimentado; ii) a concepção de que um fio conduz a corrente e o outro fio serve somente para trazer mais corrente para o dispositivo, onde as duas correntes se chocam; iii) a concepção do consumo de corrente, na qual a corrente diminui à medida que passa por cada um dos componentes em série; iv) a concepção de raciocínio local na qual a atenção está centrada em um ponto do circuito, ignorando os outros, como por exemplo quando se considera a bateria como uma fonte de corrente constante e independente do que está ligado nela; v) a concepção de raciocínio sequencial na qual acredita-se que uma mudança no “início” do circuito influencia os elementos que estiverem depois, ao passo que uma mudança “no final” não influencia os elementos situados antes; vi) a dificuldade em distinguir os conceitos de tensão e corrente.

Os autores constataram que, às vezes, alguns estudantes seguem percursos de aprendizagem muito complicados, que incluem avanços, retrocessos, impasses e até mesmo movimentos em direções opostas ao esperado. Entretanto, Duit e Von Rhöneck (1997, p. 5) afirmam que segundo Chinn e Brewer (1993) esses estudantes não têm disposição ou capacidade para mudar o seu ponto de vista em um único experimento, pois esse ponto de vista ainda é muito proveitoso e plausível para eles.

Nessa pesquisa, os autores verificaram que os estudantes aprendem uma espécie de ideia híbrida, que mescla faces de conceitos pré-instrucionais e pontos de vista da física, isto é, há uma certa coexistência de ambos os pontos de vista.

Os autores defendem que para ocorrer a mudança conceitual são necessárias certas condições racionais e emocionais, afirmando que Jung (1993) constatou que os sujeitos compreendem o conceito mas não acreditam nele e lembrando que Grob *et al.* (1994) verificaram que a troca de ideias é influenciada por interesses, motivações e por um clima adequado para que isso ocorra.

Entretanto, os autores advertem que, segundo Guzetti e Glass (1993), embora os conflitos cognitivos desempenhem um papel importante ao desafiar as ideias dos estudantes, é necessário observar que, muitas vezes, é difícil que os estudantes vejam o conflito.

Duit e Von Rhöneck (1997, p. 9) dizem que existem estratégias de “caminhos contínuos” que evitam esse conflito, lembrando que Driver (1989) defendeu uma proposta construtivista de aprendizagem em ciências e afirmando que Jung (1986) e Grayson (1996) trabalham com uma estratégia de reinterpretação, na qual a concepção inicial do estudante não está de todo errada. Os autores ainda afirmam que Gauld (1989) defende as estratégias que visam orientar os estudantes a desenvolver uma concepção científica num processo passo a

passo e também falam sobre a estratégia de analogia, tal como aquelas com os circuitos de água.

Por fim, Duit e Von Rhöneck (1997, p. 9) mostram que a estratégia “caminhos contínuos” se constitui a partir de concepções pré-instrucionais, procurando estabelecer relações entre as experiências do sujeito e o fenômeno e, a partir disso, avança para a concepção científica via um percurso contínuo.

Silva, Takahashi e Pinto (2012, p. 13) investigaram o ensino e a aprendizagem do “Princípio de Superposição” na disciplina de Circuitos Elétricos I do curso de Engenharia Elétrica de uma instituição de ensino particular de Minas Gerais. Para tanto, os autores afirmam ter se baseado nas ideias de Vinner (1991) para identificar as definições e as imagens conceituais formadas pelos estudantes e nas ideias de Vygotsky (2001) para analisar o modo pelo qual o conceito foi ensinado.

Os autores relatam que, segundo Vinner (1991), a definição não tem poder cognitivo sobre o pensamento conceitual, por isso eles defendem que é um equívoco esperar que a imagem conceitual seja formada pela definição técnica, considerando então que, a reconstrução de uma definição formal nem sempre indica um entendimento, visto que tal definição pode ter sido adquirida por memorização. Conforme Silva, Takahashi e Pinto (2012, p. 16), deve-se considerar que, para Vinner (1991), as definições podem ser percebidas diretamente, pois são verbais e explícitas, mas as imagens conceituais só podem ser percebidas indiretamente, por meio de questões verbais e implícitas que possam expô-las.

Os autores dizem que os estudantes pensam que não precisam estudar a parte teórica, basta resolver exercícios, então ao invés de considerarem o problema como um caso particular de uma situação geral, consideram-no como um problema-tipo para o qual devem utilizar determinado tipo de solução, substituindo um entendimento mais geral por procedimentos particulares que são decorados sem compreensão.

Assim, a investigação sobre definição e imagem conceitual foi feita por meio de dois procedimentos: uma entrevista onde era perguntado diretamente o que é o princípio da superposição e que tinha por objetivo perceber a definição conceitual dos alunos, e, a resolução de um exercício, para perceber a imagem conceitual.

A coleta de dados sobre o modo pelo qual o conceito foi ensinado foi feita através de observação e gravação em vídeo da aula em que o conceito foi introduzido, seguida de anotações e de uma verificação no livro texto adotado pelo professor.

A verificação da assimilação de conceitos foi feita por meio de questões cuja resolução depende do conhecimento destes conceitos, supondo-se que o estudante só conseguiria resolvê-la se dominasse o conceito.

Para analisar os resultados, foram definidas categorias em função da precisão da resposta em relação ao conceito científico e à assertividade na resolução do exercício e depois elas foram analisadas em relação à definição e à formação da imagem conceitual e assim foram obtidas as conclusões apresentadas a seguir.

Foi verificado que quando um sujeito define corretamente um conceito, mas não sabe aplicá-lo pode ser que a imagem conceitual ainda não tenha se constituído de modo a garantir a aplicação, e assim ele pode ter memorizado o conceito sem ter aprendido.

Silva, Takahashi e Pinto (2012, p. 21) afirmam ter constatado, do mesmo modo que Vinner (1991), que os alunos não usaram a definição conceitual para resolver o exercício, o que sugere que esses alunos continuam aplicando, dentro do contexto acadêmico, os mesmos hábitos que adotam para o pensamento cotidiano.

Os autores também afirmam terem, do mesmo modo que Vinner, constatado que a resolução de um exercício não garante a formação de uma imagem conceitual consistente, visto que essas duas características podem ser formadas independentemente.

Dos nove estudantes que resolveram o exercício apenas dois souberam aplicar o princípio da superposição e somente um formou a definição e a imagem conceitual e assimilou os conceitos, assim, os autores sugerem uma deficiência na aprendizagem.

Portanto, embora tenha sido possível constatar um efetivo aprendizado dos conceitos de cunho “instrumental” relacionados com cálculos, os conceitos relacionados com as propriedades dos circuitos lineares não foram de todo absorvidos.

Em sua conclusão Silva, Takahashi e Pinto (2012, p. 22) advertem que embora em seu estudo fossem fornecidos vários exemplos e exercícios, mesmo assim a imagem conceitual não foi formada pela maioria dos estudantes. Entretanto, os autores afirmam que concordam com Vygotsky que defende que o ensino deve alcançar o nível de concretude, através da experiência. Do mesmo modo, os autores dizem concordar com Vinner, em que somente a definição não é capaz de criar a imagem conceitual, e assim defendem que a imagem conceitual seja construída consistentemente, com exemplos e explicações.

Por fim, apresenta-se um artigo que, embora seu tema não esteja relacionado com essa Tese, verificou-se que sua leitura contribuiu para se pensar sobre a utilização do método clínico nessa investigação. Em Almeida Neto, Castro e Castro Júnior (2006, p. 1), os autores descrevem um estudo em que se utiliza o método clínico como referência para o

desenvolvimento de um suporte tecnológico para se fazer o registro, organização e análise dos programas produzidos pelos estudantes.

O estudo foi feito com três turmas de uma disciplina introdutória de computação, onde foram utilizados questionários e desafios de lógica para identificar dificuldades de aprendizagem. Nessa resolução de problemas foi utilizada uma adaptação do método clínico, na qual, foram feitas observações externas, leitura dos comentários que os estudantes haviam registrado no software e entrevistas individuais.

Os estudantes tinham que resolver um problema por aula, informando o grau de dificuldade ao ler o problema e o grau de dificuldade no final da atividade.

A resolução era acompanhada por monitores que anotavam as soluções adotadas, os comportamentos, erros, distrações, consultas e o tempo utilizado. O professor então lia os relatórios e entrevistava os alunos para que explicassem como resolveram.

Com base nos resultados foi desenvolvido um software para acompanhar a resolução dos problemas que funciona da seguinte forma: enquanto os estudantes desenvolviam e testavam seus programas, ele ia registrando cada solução em um sistema de controle de versões, estabelecendo uma ligação com o banco de dados que organizava as contas dos usuários e o conjunto de problemas cadastrados.

O professor fazia a articulação das ações, gerenciando usuários e problemas, e inseria o nome e a descrição do problema no sistema. O estudante tinha então uma data-limite para submissão das soluções e um espaço para colocar comentários. A solução podia ser testada e refeita quantas vezes fosse necessário até a data-limite.

Por fim o professor fazia a análise das soluções, dos comportamentos, do histórico de modificações, dos *download* das versões e das diferenças entre as versões. O professor também podia entrevistar os sujeitos para que eles explicassem como haviam resolvido o problema, embora, nesse artigo, não se tenham registros dessas intervenções.

Ao encerrar esse levantamento chegou-se a um total de 24 trabalhos que continham assuntos referentes ao tema aprendizagem de circuitos elétricos. Dentre esses trabalhos um foi encontrado nos COBENGE's, três no Banco de Teses e Dissertações da CAPES, um no Caderno Brasileiro de Ensino de Física no endereço eletrônico de sumários, um no Caderno Brasileiro de Ensino de Física no endereço eletrônico da UFSC, nenhum no Portal de Periódicos da CAPES em Português, três no Portal de Periódicos da CAPES em Inglês, busca nos cinco anos mais recentes, oito no Portal de Periódicos da CAPES em Inglês, busca sem limite de tempo, e mais sete artigos de Fontes Diversas, que foram recebidos como sugestão

de leitura, ou que eram referenciados em outros trabalhos e, em função de sua relevância, foram solicitados ao Sistema Comut da Biblioteca Central da UFRGS.

Assim, apresenta-se no Apêndice A – Trabalhos e Objetivos, uma tabela onde estão relacionadas, de forma resumida, essas investigações com os correspondentes objetivos de cada obra, inferidos a partir das leituras.

Para proceder a uma análise do conjunto dos trabalhos localizados foram definidas duas classes, de acordo com uma interpretação feita sobre os seus objetivos e suas correspondentes linhas de pesquisa, que foram as seguintes: i) dificuldades de aprendizagem; e, ii) modelos de aprendizagem e concepções. Assim, no Apêndice C – Classificação dos Trabalhos apresenta-se uma tabela das classes estabelecidas, com os trabalhos correspondentes a cada uma dessas classes.

A classe dificuldades de aprendizagem conteve dois trabalhos. A classe modelos de aprendizagem e concepções dos estudantes constituiu-se de 22 investigações oriundas um pouco de cada uma das fontes.

Pela investigação que se fez, pode-se verificar que nos anais do COBENGE dos 64 artigos localizados pelas palavras-chave “ensino e aprendizagem de circuitos elétricos”, encontrou-se apenas 14 artigos que investigavam a aprendizagem pelo ponto de vista do estudante, e somente um artigo que se referia à aprendizagem em circuitos elétricos.

No Banco de Teses e Dissertações da CAPES, por sua vez, dos 18 trabalhos localizados 15 falavam sobre métodos de ensino na temática circuitos elétricos e somente três trabalhos abordavam a aprendizagem de circuitos elétricos, dos quais um se referia a dificuldades de aprendizagem e outros dois a modelos de aprendizagem e concepções.

Já no Caderno Brasileiro de Ensino de Física encontraram-se apenas dois trabalhos, todos relativos a modelos de aprendizagem e concepções.

Com relação aos trabalhos localizados no Portal de Periódicos da CAPES em inglês, a totalidade (11 trabalhos) descrevem pesquisas sobre modelos de aprendizagem e concepções dos estudantes e não há evidências de trabalhos que investiguem os processos e as dificuldades de aprendizagem. Fato semelhante ocorreu com os trabalhos obtidos a partir de Fontes Diversas, onde, dos sete artigos encontrados seis se referem a modelos de aprendizagem e concepções e um investiga as dificuldades de aprendizagem.

Esses dados levam a se conjecturar que, apesar de haver, mesmo a nível mundial, alguns trabalhos onde se revelam uma preocupação em compreender o ponto de vista do estudante, essa quantidade ainda é pequena se comparada ao volume de publicações sobre o ensino em eletricidade, onde se consideram muito mais o uso de técnicas e métodos de ensino,

por exemplo. Parece que ainda há uma predominância muito forte de um pensamento centrado no ponto de vista de que, somente com o uso de novos métodos de ensino poderá se contribuir com a melhoria do aprendizado, desconsiderando-se a importância dos processos cognitivos dos sujeitos para a construção do seu próprio aprendizado.

No entanto, esses dados confirmam a hipótese de que há uma evidente preocupação no meio acadêmico com relação ao modo como os estudantes respondem aos questionamentos e com respeito aos resultados do processo de ensino.

Constatou-se ainda não haver indícios de trabalhos que investiguem a construção do conhecimento, a aprendizagem e a evolução da compreensão sobre os circuitos elétricos lineares, em especial no que diz respeito às relações implícitas investigadas por essa Tese. Também verificou-se que não há evidências de trabalhos que investiguem essa temática sob a perspectiva da Epistemologia Genética.

Todavia, os trabalhos encontrados nessa investigação, de uma forma ou de outra, contribuíram com o desenvolvimento dessa Tese, especificamente no sentido de apresentar modelos de pensamento e de aprendizagem e concepções dos estudantes sobre os conceitos relativos à eletricidade, bem como no que se refere a auxiliar a elaboração da metodologia de investigação e do instrumento de coleta de dados.

Neste sentido, com a leitura dessas obras verificou-se que os estudantes podem apresentar dificuldades de aprendizagem e concepções alternativas que correspondem a um pensamento ainda muito distante do significado do conceito científico. Pode-se inferir que o conhecimento dessas dificuldades e concepções poderia ser útil na elaboração dessa pesquisa, pois esses problemas também poderiam aparecer nas investigações.

Apurou-se que alguns trabalhos indicam existir níveis de complexidade dos conceitos, tal como em Coelho (2011, p. 63) que construiu um sistema categórico e hierárquico de respostas e assim efetuou um mapeamento desses conceitos e do nível de entendimento dos estudantes, analisando as respostas através de uma escala avaliativa.

Verificou-se ainda, de forma geral, nesses artigos, que as experiências dos estudantes sobre um fenômeno propiciam que eles utilizem, *a posteriori*, modelos mais sofisticados para explicar aquele fenômeno, lembrando os estudos de Piaget.

Quanto à coleta dos dados, os trabalhos forneceram informações relevantes para a elaboração dos instrumentos de avaliação. A Tese de Doutorado de Coelho (2011, p. 63) relata diferentes instrumentos, tanto de questões abertas como de questões fechadas, que serviram para obter respostas qualitativas e quantitativas dos estudantes sobre conceitos e

características de certas situações ou fenômenos físicos, visando identificar o entendimento desses estudantes sobre aquelas questões em diferentes momentos.

Já o artigo de Borges (1999, p. 93) apresenta uma investigação que consta das etapas de previsão, observação e explicação, que parecem possuir certa semelhança com o método clínico de Piaget, o qual serviu de inspiração para as entrevistas empregadas nessa Tese.

Com o trabalho de Gouveia (2007, p.96), constatou-se, no que se refere às dificuldades de compreensão, que “o uso de desenhos é um instrumento auxiliar para explicitar e acusar as dificuldades dos alunos”. Assim, pensou-se que, nessa Tese, seria possível identificar essas dificuldades, bem como as contradições entre as concepções alternativas dos sujeitos e os conceitos científicos, solicitando a eles que fizessem desenhos para explicar os circuitos.

Chama a atenção a afirmação de Dorneles (2005, p. 10) de que “mesmo com o uso sistemático do laboratório” observa-se que “a compreensão dos conceitos físicos básicos não atinge o nível desejado”, o que leva a inferir que a compreensão dos estudantes não depende somente de estratégias pedagógicas. Interessante a constatação de Coelho (2011, p. 120) de que a evolução no entendimento dos conceitos não depende somente do engajamento comportamental, mas também é necessário o engajamento cognitivo.

Por fim, é possível afirmar que se atingiu o objetivo inicial de se verificar qual o debate acadêmico que existe atualmente sobre o modo como os estudantes aprendem os circuitos elétricos lineares. Assim, conclui-se que, com este levantamento, comprova-se a relevância, a originalidade, a necessidade e a possibilidade que emerge em tal contexto de se fazer uma investigação para mapear os processos relativos à compreensão dos circuitos elétricos lineares, à luz da Epistemologia Genética de Jean Piaget.

A seguir, o item 3.2, tem por objetivo introduzir conceitos, circuitos e formulações relativas à teoria de circuitos elétricos lineares, sendo então apresentadas sob o ponto de vista da formação tecnológica na área de eletricidade.

3.2 TEORIA DE CIRCUITOS ELÉTRICOS: CIRCUITOS ELÉTRICOS LINEARES

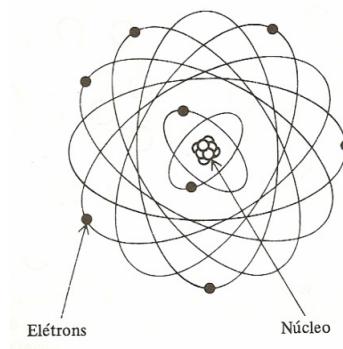
Neste capítulo apresentam-se conceitos fundamentais de Física, especificamente no que se refere à eletricidade, e que servem de base para o estudo dos circuitos elétricos lineares, tema comum tanto na educação científica como tecnológica. Ressalta-se que, muito embora os conceitos aqui apresentados possam ser empregados, sem restrições, na educação

científica, tendo-se em vista que o objetivo desse trabalho é refletir sobre a aprendizagem e a compreensão dos circuitos elétricos lineares no processo de formação tecnológica do profissional de eletricidade e de eletrônica, os mesmos serão utilizados como objeto de estudo, devendo ser abordados dentro dessa perspectiva.

Assim, inicia-se a discussão pelos conceitos de matéria, átomo, elétron, campo elétrico e potencial elétrico, chegando-se então às definições de tensão, corrente, resistência e potência e, finalmente, aos circuitos elétricos lineares.

De acordo com Torres, Ferraro e Soares (2010, p. 16) “matéria é tudo aquilo que tem massa e ocupa um volume no espaço”, sendo constituída por partículas pequenas chamadas de átomos. Os átomos, por sua vez, são formados por partículas subatômicas, que são os prótons e os nêutrons que estão dentro do núcleo e os elétrons que estão na periferia do átomo girando em órbitas, conforme pode-se ver na figura 1, através do modelo de Bohr-Rutherford.

Figura 1 – Estrutura de um Átomo, Segundo o Modelo de Bohr-Rutherford



Fonte: Gussow (2009, p. 13).

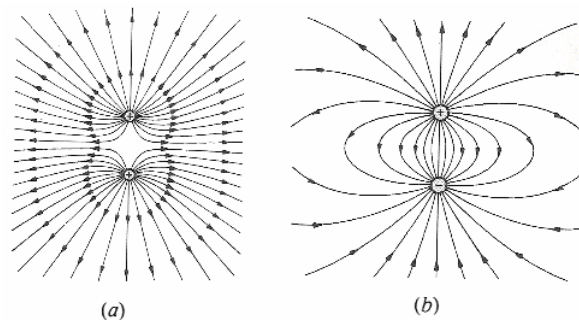
Os elétrons possuem carga elétrica de polaridade negativa e os prótons possuem carga elétrica de polaridade positiva, já os nêutrons não possuem carga elétrica. A massa do núcleo do átomo é cerca de 1.840 vezes maior que a massa dos elétrons, e a distância do centro do núcleo até a periferia do átomo corresponde a aproximadamente 10.000 vezes o raio do núcleo. Isso significa que quase a totalidade da massa do átomo está concentrada em uma região muito pequena: o seu núcleo. Portanto, a maior parte do volume de um átomo é constituída de espaço destituído de matéria, mas “preenchido” pelo campo elétrico devido às cargas envolvidas – os prótons dos núcleos e os elétrons.

Tipler e Mosca (2012, p. 6) afirmam que o cientista Charles Augustin Coulomb (1736-1806) estudou a força exercida por uma carga sobre a outra e verificou que “ela varia com o inverso do quadrado da distância que separa as cargas e é proporcional ao produto das cargas.

A força é repulsiva se as cargas tiverem o mesmo sinal e atrativa se elas tiverem sinais opostos”. Essa lei foi então denominada de Lei de Coulomb.

Para Halliday, Resnick e Walker (2013, p. 39) “Uma forma de explicar a força eletrostática entre duas cargas é supor que uma carga produz um campo elétrico no espaço em volta. A força eletrostática que age sobre uma das cargas é atribuída ao campo elétrico produzida pela outra carga na posição da primeira”. Esse fenômeno é assim exemplificado na figura 2a, onde estão representadas as linhas de força do campo elétrico quando da interação entre duas cargas de mesma polaridade, no caso positiva, e na figura 2b, onde se representa as linhas de força do campo elétrico quando ocorre a interação entre duas cargas de polaridade diferentes, uma positiva e uma negativa.

Figura 2 – Interação entre os Campos Elétricos de Cargas Elétricas Pontuais



Fonte: Adaptado de Halliday, Resnick e Walker (2013, p. 24).

Tipler e Mosca (2012, p. 72) definem que “a variação da energia potencial é proporcional à carga teste. Essa relação sugere que definamos uma quantidade – a variação da energia potencial por unidade de carga – denominada diferença de potencial dV ”, para a qual apresentam a equação $dV = dU/q_0$, onde dU equivale à variação da energia potencial entre dois pontos e q_0 corresponde ao valor da carga teste.

Tipler e Mosca (2012, p. 73) ainda lembram que “como o potencial elétrico é a energia potencial por unidade de carga, a unidade para o potencial e para a diferença de potencial no SI é o joule por coulomb, denominada volt (V)”. Gussow (2009, p. 17), adotando o ponto de vista da engenharia, considera que “a diferença de potencial é chamada de tensão”.

Boylestad (2012, p.27) explica que ao separarem-se elétrons do restante da estrutura atômica do cobre “criamos regiões com cargas positivas e negativas” tal como a ação que ocorre em uma bateria, onde “por meio da ação química, uma pesada concentração de carga positiva (íons positivos) é estabelecida no terminal positivo com uma concentração igualmente pesada de carga negativa (elétrons) no terminal negativo”, assim, “toda fonte de

tensão é estabelecida com a simples criação de uma separação de cargas positivas e negativas”.

No cotidiano essas fontes de tensão, enquanto elementos responsáveis por estabelecer uma tensão elétrica, consistem em geradores, redes de energia elétrica, células solares (ou fotovoltaicas), pilhas e baterias, por exemplo.

Conforme Gussow (2009, p. 14), os elétrons têm sua energia distribuída em diferentes níveis, sendo que, em cada um desses níveis, a energia é proporcional à sua distância do núcleo. Assim, os níveis de energia de elétrons que estão em camadas mais afastadas do núcleo são maiores do que os níveis de energia de elétrons situados em camadas mais próximas do núcleo; por isso, os elétrons mais externos sofrem uma mínima atração das cargas positivas desse átomo.

Quando se aplica uma energia externa, como por exemplo, o calor, a luz ou a energia elétrica (através de uma fonte de tensão, por exemplo), a certos materiais, alguns elétrons absorvem essa energia e se deslocam do seu nível de energia para outro mais alto, levando o átomo para um estado de instabilidade, chamado de estado de excitação.

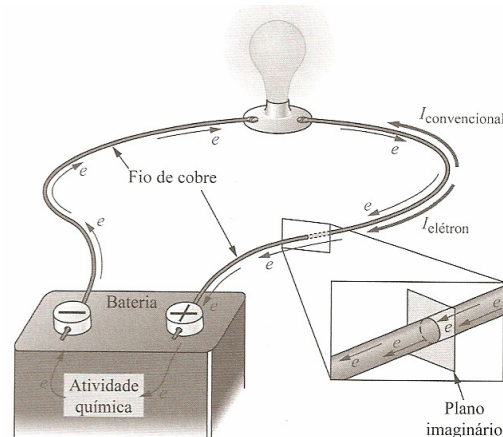
Se for aplicada uma energia suficiente aos “elétrons de valência” que são os da camada mais externa do átomo, alguns desses elétrons abandonarão o átomo. O movimento desses elétrons, chamados então de “elétrons livres”, em um material condutor - como o ferro, o cobre, o ouro – é denominado de “corrente elétrica” (GUSSOW, 2009, p. 18).

Neste sentido, Tipler e Mosca (2012, p. 145) ao se referirem à circulação de corrente elétrica, afirmam que, momento em que é aplicada a fonte de energia elétrica “uma pequena quantidade de carga se acumula ao longo das superfícies dos fios e dos outros elementos condutores do circuito, e essas cargas superficiais produzem campos elétricos que direcionam o movimento da cargas através dos materiais condutores do circuito”.

Com essa mesma perspectiva Boylestad (2012, p.31) define que “uma força eletromotriz é uma força que estabelece o sentido da carga (ou corrente) em um sistema devido à aplicação de uma diferença de potencial”.

Assim, de acordo com Gussow (2009, p. 17), a intensidade de corrente elétrica, ou simplesmente corrente elétrica, cujo símbolo é a letra “I” e cuja unidade é o ampère (A), é determinada pela quantidade de cargas elétricas “Q” que atravessam a seção reta, em um plano imaginário, de um condutor, durante um intervalo de tempo “t”, em virtude da ação da diferença de potencial elétrico ou tensão elétrica aplicada nos terminais desse condutor: $I=Q/t$. Na Figura 3 ilustra-se a corrente elétrica produzida em um fio condutor em virtude da diferença de potencial aplicada por uma fonte de tensão, no caso uma bateria.

Figura 3 – Diferença de Potencial Produzindo a Corrente Elétrica



Fonte: Boylestad (2012, p. 29).

Observa-se nessa figura que há dois sentidos de corrente, um deles denominado de $I_{\text{convencional}}$ e o outro de $I_{\text{elétron}}$. Segundo Boylestad (2012, p.30) “a controvérsia sobre o sentido da corrente é resultado de se ter considerado, na época em que a eletricidade foi descoberta, que as partículas móveis nos condutores metálicos tivessem carga positiva”. Assim, como há muito já se vinha empregando o sentido convencional em livros, manuais e diagramas esquemáticos para representar circuitos e componentes elétricos e eletrônicos, manteve-se a convenção, apesar de se descobrir mais tarde que o sentido real da corrente é o dos elétrons.

De outro modo, as correntes podem ser classificadas em corrente contínua e corrente alternada. Assim, quando a tensão elétrica nos terminais de um condutor for de polaridade constante no tempo, a corrente elétrica irá circular, nesse condutor, somente em um sentido, e temos o que se denomina de corrente contínua, tal como numa pilha ou bateria.

No caso da corrente alternada, a tensão alterna periodicamente a sua polaridade, e a corrente também muda o seu sentido no mesmo período, tal como a rede de energia elétrica residencial.

Entretanto, conforme Gussow (2009, p. 52) a corrente elétrica ao passar por um fio ou outro material condutor sofre uma reação desses materiais que se expressa por uma dificuldade ou uma “oposição ao fluxo da corrente”, a qual é denominada de resistência elétrica (R), grandeza elétrica cuja unidade de medida é o ohm (Ω). Segundo esse autor, um ohm (1Ω) é definido “como a quantidade de resistência elétrica que limita a corrente num condutor a um ampère (1A) quando a tensão aplicada for de um volt (1V)”, considerando a temperatura constante.

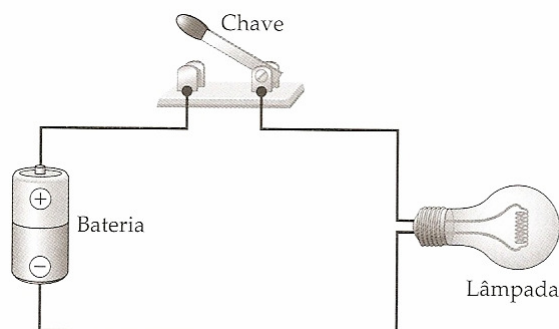
Todos os materiais oferecem um valor específico de resistência à passagem da corrente elétrica, “de acordo com a sua natureza, independentemente de seus comprimentos ou áreas”, para uma dada temperatura, ao que se denomina de resistência específica ou resistividade (ρ) (GUSSOW, 2009, p. 71). Assim, existem materiais que oferecem uma alta resistência à passagem da corrente elétrica, que são os isolantes, tais como o papel, a mica, a madeira, a borracha, e outros materiais que oferecem uma pequena resistência à passagem da corrente elétrica são os condutores, tais como a prata, o cobre, o ouro, o alumínio.

Ainda, no parágrafo anterior falou-se que a resistividade (ρ , portanto, a resistência) é influenciada pela temperatura, o que leva a considerar a existência de um “coeficiente de temperatura para a resistividade”, pois segundo Tipler e Mosca (2012, p. 151) “a resistividade varia de forma praticamente linear com a temperatura”, e assim, nas “tabelas, a resistividade é usualmente dada em termos do seu valor a 20°C”.

Então, considerando-se essa propriedade da resistência elétrica, foram criados componentes elétricos denominados resistores, os quais são construídos com a finalidade de apresentar um valor específico, conhecido e pré-determinado de resistência para que se possa, então, limitar a corrente elétrica e obter uma queda de tensão em valores desejados. Destaca-se também que, em função de suas características, os resistores também podem ser fabricados para que forneçam calor (tal como a “resistência de chuveiro”, “resistência de aquecedor”) ou iluminação (no caso de lâmpadas incandescentes).

Neste sentido, a ligação de um resistor, uma lâmpada ou um chuveiro, a uma fonte de tensão (a rede de energia elétrica, uma pilha ou uma bateria), constitui o que se denomina de circuito elétrico, tal como o que está esboçado na figura 4, onde um interruptor (ou uma chave) é utilizado para controlar a ligação ou o desligamento de uma lâmpada a uma bateria.

Figura 4 – Esboço de um Circuito Elétrico para Ligar uma Lâmpada.



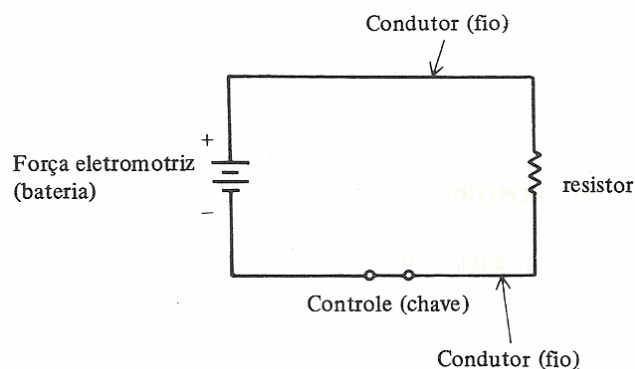
Fonte: Tipler e Mosca (2012, p. 152).

Assim, por definição, circuito elétrico é todo o caminho em que existe a possibilidade de circulação de corrente elétrica. Circuito elétrico fechado é um percurso onde a corrente não está interrompida, ou seja, a corrente está sempre circulando, em oposição ao circuito aberto, que é aquele no qual a corrente está interrompida, impedida de circular.

Segundo Gussow (2009, p. 51), um circuito elétrico é constituído pelo menos de quatro partes: uma força eletromotriz ou fonte de tensão (tal como uma bateria), condutores elétricos (fios), instrumentos de controle (chave, interruptor, etc.) e um componente que receberá a energia elétrica da fonte (na área tecnológica denominado como carga), que pode ser, por exemplo, um resistor, um chuveiro, uma lâmpada incandescente, etc.. Esse circuito mínimo, nessa Tese, será denominado de circuito elétrico elementar.

Assim, na figura 5 representa-se o diagrama elétrico, de um circuito elétrico elementar e fechado em corrente contínua, em conformidade com o estabelecido pelas normas técnicas, inclusive no que diz respeito à simbologia dos componentes elétricos.

Figura 5 – Diagrama Elétrico de Um Circuito Elétrico Elementar.



Fonte: Adaptado de Gussow (2009, p. 51).

No circuito elétrico da figura 5, a relação entre a tensão e a corrente no resistor, é dada pela Lei de Ohm, que pode ser expressa de três formas:

a) $I = V/R$

Utiliza-se esta expressão quando os valores da tensão da fonte e da resistência são conhecidos e é necessário calcular o valor da intensidade de corrente que é fornecida pela fonte e que circula no resistor;

b) $R = V/I$

Usa-se esta expressão quando os valores da tensão da fonte e da intensidade de corrente que circula no resistor são conhecidos e é necessário calcular o valor da resistência do resistor;

c) $V = I \times R$

Utiliza-se esta expressão quando o valor da intensidade de corrente que circula no resistor e o valor da resistência desse resistor são conhecidos e necessita-se calcular o valor da tensão da fonte, que é o mesmo valor da tensão no resistor.

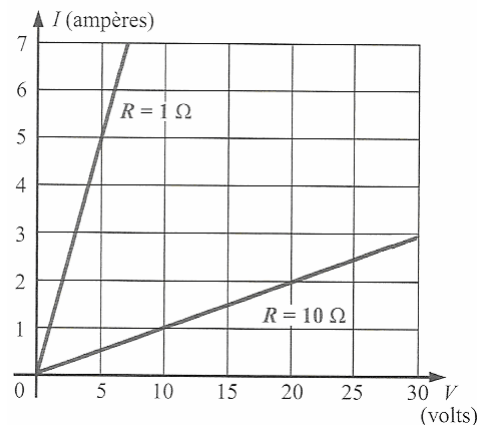
Uma forma bastante utilizada na área científica e tecnológica, que se mostra eficiente para descrever o comportamento dos fenômenos consiste em se fazer um gráfico, visto que ele permite tanto descrever como antecipar possíveis resultados sobre o seu comportamento.

Assim, verifica-se a possibilidade de representar a Lei de Ohm para o circuito da figura anterior através de um gráfico, onde os valores das tensões da fonte e do resistor são conhecidos e se deseja calcular a corrente no resistor, utilizando-se, então, a equação apresentada no item a) $I=V/R$.

Com base nessa equação, se define que a corrente I deverá ficar no eixo vertical, da variável dependente ou eixo da ordenada (y), e a tensão V , deverá então ficar no eixo horizontal, da variável independente ou eixo da abscissa (x).

Na seqüência, deve-se, então, variar o valor da tensão da fonte, paulatinamente, e determinar o valor correspondente da corrente, para marcar o par ordenado no exato ponto (V , I) do gráfico. Ao se executar esse procedimento encontrar-se-á uma reta, tal como as retas apresentadas na figura 6, onde, no caso dessa figura, observa-se que cada uma dessas retas corresponde a valores diferentes de resistores colocados no circuito, respectivamente, uma reta para o resistor de 1Ω e outra reta para o resistor de 10Ω . Isso vem a provar que a Lei de Ohm se comporta exatamente como uma função linear do tipo $y=a.x+b$. Assim, nessa função, por comparação à equação $I=V/R$, se infere que $y=I$, $a=1/R$, $x=V$ e $b=0$, visto que as retas passam pela origem do gráfico (ponto correspondente ao par ordenado $x=0$, $y=0$).

Figura 6 – Gráfico da Lei de Ohm



Fonte: Adaptado de Boylestad (2012, p. 87).

Portanto, conforme Boylestad (2012, p. 87), como “a” representa a declividade da reta que é constante e equivale ao inverso da resistência (ao que se denomina de condutância), pode-se inferir que, nesse caso, “a resistência não varia com os níveis de tensão e de corrente; ao contrário, ela é uma grandeza que se mantém fixa”.

Como o gráfico que descreve o comportamento do circuito se comporta como uma função linear (uma reta) e constata-se que a resistência não varia, então pode-se dizer que esse circuito é um “Circuito Elétrico Linear”, e assim, por generalização, afirma-se que todo circuito que apresenta um comportamento resistivo, ou seja, no qual a resistência não varia com a tensão ou com a corrente, é um “Circuito Elétrico Linear”.

Outra grandeza elétrica importante para se considerar em um circuito elétrico resistivo é a potência elétrica (P), cuja unidade é o watt (W). Segundo Boylestad (2012, p. 89) “o termo potência é aplicado para fornecer uma indicação da quantidade de trabalho (conversão de energia) que pode ser realizado em um determinado período de tempo”. Assim, a potência elétrica representa a variação da energia elétrica por unidade de tempo sobre a resistência. Ainda, de acordo com Boylestad (2012, p. 90) “a potência associada a qualquer suprimento não é simplesmente uma função da tensão de suprimento. Ela é determinada pelo produto da tensão de suprimento e sua especificação de corrente máxima” e, conforme Gussow (2009, p. 55) “a potência elétrica P usada em qualquer parte de um circuito é igual à corrente I nessa parte multiplicada pela tensão V nessa parte do circuito. A fórmula para o cálculo da potência é: $P=V.I$ ”.

Lembrando a Lei de Ohm e as três formas como ela pode ser expressa, pode-se combiná-las com a equação da potência e assim obter as seguintes expressões:

a) $P = I^2 \times R$

É utilizada quando o valor da corrente que passa no resistor e o valor de sua resistência elétrica são conhecidos.

b) $P = V^2 / R$

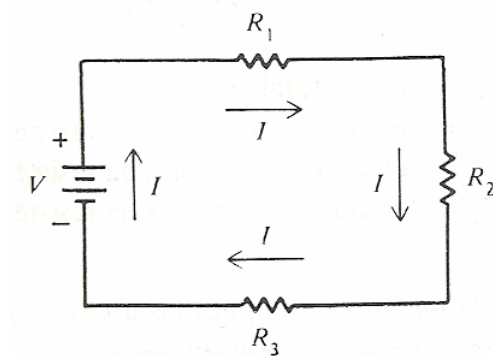
É utilizada quando o valor da tensão presente nos terminais de um resistor e o valor de sua resistência elétrica são conhecidos.

Em um circuito elétrico os componentes podem estar interconectados de diferentes modos, os quais se denominam, na área tecnológica, como configurações, sendo elas, basicamente, de três tipos: as configurações nas quais os componentes estão interligados em série, as configurações nas quais os componentes estão interconetados em paralelo e as configurações mistas ou série-paralelo. Nesse último tipo de configuração alguns componentes poderão estar ligados em série e outros em paralelo, o que permite uma grande quantidade de combinações possíveis para as formas de interligações.

Inicialmente, para analisar essas interligações é necessário estabelecer o conceito de junção ou nó como sendo o ponto de conexão de dois ou mais componentes, e de malha como sendo “um caminho fechado em um circuito que não passa mais de uma vez por um nó intermediário” (DORF e SVOBODA, 2014, p.52).

Assim, os circuitos elétricos em que a corrente, ao percorrer uma malha, encontra um caminho no qual tem que passar por mais de um resistor, um de cada vez, são chamados de circuitos série, tais como o da figura 7.

Figura 7 – Circuito Elétrico Linear com Três Resistores em Série



Fonte: Gussow (2009, p. 64).

Ao considerar esse tipo de configuração Boylestad (2012, p. 116) afirma que “a corrente é a mesma em todos os pontos de um circuito em série”, ou seja, a corrente I é igual, em todos os elementos do circuito. Nesse caso, a corrente fornecida pela fonte de alimentação V , denominada de corrente total (I_t) ou corrente da fonte (I_f), possui o mesmo valor que a corrente do resistor R_1 (I_{R1}), que a corrente do resistor R_2 (I_{R2}), e que a corrente do resistor R_3 (I_{R3}), por ser a mesma. Assim: $I_t = I_f = I_{R1} = I_{R2} = I_{R3}$.

Com relação aos resistores presentes no circuito, pode-se dizer que o efeito deles é cumulativo, ou seja, como a corrente tem que passar por todos os resistores, acaba sofrendo a ação de todos somados, pois segundo Gussow (2009, p. 64) no circuito série “a resistência total do circuito é igual à soma das resistências de todas as partes do circuito”, a qual se denomina resistência total (R_t) ou resistência equivalente (R_{eq}) do circuito série, que é, então, obtida através da expressão: $R_t = R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$.

Nesse caso, o valor da corrente total do circuito série (I_t) é limitado pela soma das resistências (R_t), sendo, então, obtido através da Lei de Ohm, dividindo-se o valor da tensão total (V_t) ou tensão da fonte (V ou V_f) pela resistência total (R_t); assim: $I_t = V_t / R_t$.

Quando a corrente passar por cada um dos resistores do circuito, produzirá, nesse resistor, uma diferença de potencial entre os seus terminais, que é calculada através da Lei de Ohm, multiplicando-se a corrente total (I_t) pelo valor da sua resistência (R). Assim, no resistor R_1 a tensão será $V_{R1} = I_t \times R_1$, no resistor R_2 a tensão será $V_{R2} = I_t \times R_2$ e no resistor R_3 a tensão será $V_{R3} = I_t \times R_3$.

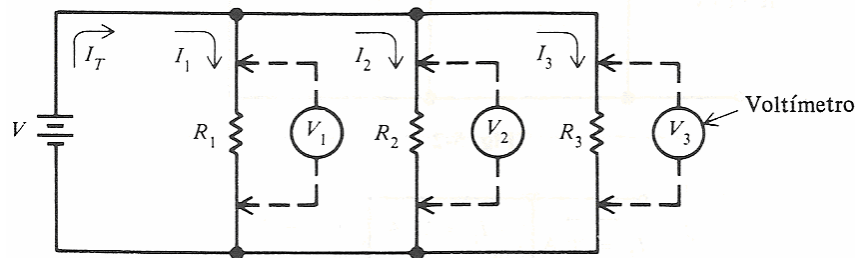
No circuito série, como a corrente é a mesma e as resistências se somam, então, a soma de todas as diferenças de potencial, ou tensões, dos resistores deverá ter valor igual ao da tensão da fonte (V), assim: $V = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3}$. Essa definição está de acordo com a Lei de Kirchhoff para as Tensões (LKT) para uma malha qualquer onde pode haver a circulação de corrente, a qual segundo Dorf e Svoboda (2014, p.52) estabelece que “a soma algébrica das tensões ao longo de uma malha, em qualquer instante, é zero”, considerando que soma algébrica significa percorrer a malha levando em conta “a polaridade das tensões” (por exemplo: positiva na fonte e negativa nos resistores). Assim, $V - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} = 0$.

O segundo tipo de configuração dos circuitos elétricos é aquele no qual os componentes estão em paralelo, em dois ou mais ramos (caminhos). Segundo Boylestad (2012, p. 159) “dois elementos, ramos ou resistores estão em paralelo se tiverem dois pontos em comum”. Para Gussow (2009, p. 87) “um circuito paralelo é aquele no qual dois ou mais componentes estão conectados à mesma fonte de tensão”, portanto, nesse caso, de acordo Tipler e Mosca (2012, p. 159) como “eles têm a mesma diferença de potencial” e,

considerando que nesses pontos “o circuito se separa”, então, “a corrente I se divide”, e o faz de modo inversamente proporcional ao valor de cada resistência.

Na figura 8 está representado um circuito elétrico com três resistores em paralelo, sobre os quais estão conectados voltímetros para medir suas tensões.

Figura 8 – Circuito Elétrico Linear com Três Resistores em Paralelo



Fonte: Gussow (2009, p. 87).

Em tal circuito Boylestad (2012, p. 166) afirma que “a tensão é sempre a mesma através de elementos em paralelo”, por outro lado, esse mesmo autor adverte que “se dois elementos estão em paralelo, a tensão através deles deve ser a mesma. Entretanto, se a tensão através de dois elementos vizinhos é a mesma, os dois elementos podem ou não estar em paralelo”, assim, pode-se afirmar que $V=V_1=V_2=V_3$.

Com base na figura acima pode-se verificar que as correntes, neste tipo de configuração, são independentes em cada um dos resistores e, por isso, podem assumir valores diferentes. Desse modo, a corrente no resistor R_1 é dada por $I_1=V/R_1$; a corrente no resistor R_2 é calculada por $I_2=V/R_2$ e a corrente no resistor R_3 pode ser obtida por $I_3= V/R_3$.

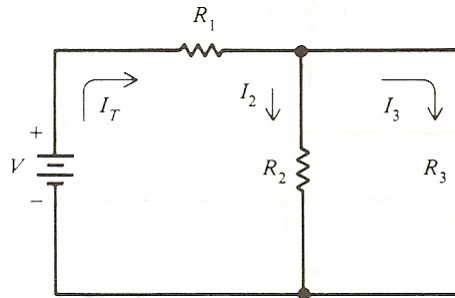
Segundo Tipler e Mosca (2012, p. 164), a Lei de Kirchhoff para as Correntes (LKC) estabelece que “em qualquer junção (ponto de ramificação) em um circuito onde a corrente pode se dividir, a soma das correntes que chegam na junção deve ser igual à soma das correntes que saem da junção”. Boylestad (2012, p. 167) lembra que “para circuitos em paralelo de fonte única, a corrente fornecida pela fonte (I) é sempre igual à soma das correntes individuais”. Assim, Gussow (2009, p. 87) conclui que, em um circuito paralelo, “a corrente total I_t é igual à soma das correntes em todos os ramos: $I_t= I_1+I_2+I_3$ ”.

Já a resistência total (R_t) ou resistência equivalente (R_{eq}) do circuito paralelo pode ser obtida utilizando-se a seguinte equação: $1/R_t = (1/R_1)+(1/R_2)+(1/R_3)$.

Um último tipo de configuração de circuito elétrico é a configuração mista, ou série-paralelo, na qual pode haver alguns componentes em série e outros em paralelo, e assim, a

quantidade de combinações poderá ser muito grande. Para efeito de exemplo se analisará a configuração apresentada na figura 9, que é semelhante à configuração relativa ao experimento utilizado nas entrevistas efetuadas com os sujeitos nessa Tese.

Figura 9 – Circuito Elétrico Linear na Configuração Série-Paralelo ou Mista



Fonte: Gussow (2009, p. 176).

Considerando-se que neste circuito são conhecidos somente o valor da tensão da fonte (V) e os valores das resistências dos resistores R_1 , R_2 e R_3 , não há como se calcular, num primeiro momento, algum valor de tensão ou corrente sobre esses resistores, visto que em cada resistor só se sabe o valor de sua resistência. Para que se pudesse determinar o valor da corrente em algum dos resistores se necessitaria saber também o valor da tensão sobre ele. Da mesma forma, para que se pudesse determinar o valor da tensão sobre algum dos resistores se necessitaria saber também o valor da corrente que passa por ele. Entretanto, como não se sabe nenhuma tensão ou corrente através desses componentes, além da tensão da fonte, a situação que se apresenta, do ponto de vista da resolução matemática, é de uma equação ($V=I.R$) com duas incógnitas, o que estabelece um sistema indeterminado.

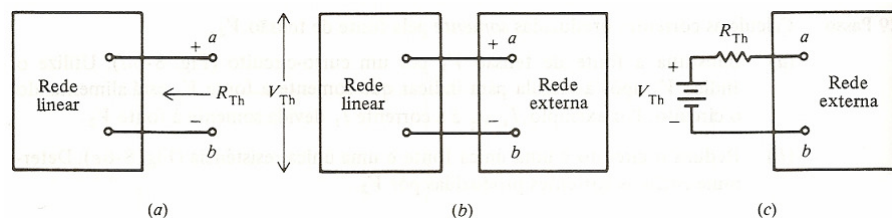
Assim, para se encontrar os valores desejados de correntes e tensões sobre os resistores, há que se utilizar outro método de solução. Como se sabe o valor da tensão total, que é a tensão da fonte (V), poder-se-ia obter a corrente total (I_t) se o valor da resistência total (R_t) fosse conhecido. O método a ser empregado então, consiste, em primeiro lugar, em se determinar a resistência total ou equivalente de todo o circuito (R_t), para depois calcular a corrente total (I_t) e, então, passo a passo, ir determinando as tensões e correntes em blocos parciais do circuito completo, configurados em série ou paralelo. Assim, por apresentarem características específicas das configurações série ou paralelo, esses blocos permitem que se identifique e calcule essas tensões e correntes, com o auxílio dos conceitos e das equações dessas configurações. Para isso, considera-se que há dois resistores (R_2 e R_3) em paralelo e que esse paralelo ($R_2//R_3$) está em série com outro resistor (R_1). Assim, a resistência total

poderá ser calculada por: $R_t = R_1 + \{1/[(1/R_2) + (1/R_3)]\}$. Obtido o valor dessa resistência poder-se-á, então, calcular o valor da corrente total da seguinte forma: $I_t = V/R_t$.

Considerando agora que essa corrente total I_t é a mesma corrente que passa pelo resistor R_1 , pode-se então calcular a tensão sobre o resistor R_1 , denominada de V_1 , usando a seguinte equação: $V_1 = I_t \cdot R_1$. De posse desse valor, é possível determinar a tensão sobre o paralelo R_2/R_3 , que é igual às tensões V_2 , sobre o resistor R_2 , e V_3 , sobre o resistor R_3 , usando a seguinte equação: $V_2 = V_3 = V - V_1$. Sabendo agora o valor da tensão V_2 pode-se determinar a corrente I_2 por $I_2 = V_2/R_2$ e ainda, com o valor da tensão V_3 é possível calcular a corrente I_3 , através da seguinte equação: $I_3 = V_3/R_3$. Assim, usando basicamente a Lei de Ohm, mas principalmente, tendo um suficiente nível de compreensão do funcionamento do circuito, incluindo as relações série-paralelo entre os diversos componentes, pode-se chegar, finalmente, a calcular e conhecer todos os valores de tensões e correntes em todos os componentes do circuito.

Uma outra forma bastante útil e eficiente para se resolver circuitos elétricos lineares mistos, tão ou mais complexos que esse, é utilizar o Teorema de Thèvenin, transformando o circuito complexo em um circuito equivalente mais simples. De acordo com Boylestad (2012, p. 293) o Teorema de Thèvenin afirma que “qualquer circuito de corrente contínua de dois terminais pode ser substituído por um circuito equivalente que consista somente de uma fonte de tensão e de um resistor em série”. Gussow (2009, p. 171) por sua vez, defende que “Esse teorema afirma que qualquer rede linear de fontes de tensão e resistências, se considerarmos dois pontos quaisquer da rede, pode ser substituída por uma resistência equivalente R_{Th} em série com uma fonte equivalente V_{Th} ”, como se pode ver na figura 10.

Figura 10 – Circuito Equivalente Thèvenin de uma Rede Linear



Fonte: Gussow (2009, p. 172).

Na Figura 10a apresenta-se a rede linear original na qual se destacam os terminais “a” e “b” onde se quer obter os resultados de tensão e corrente relativos ao comportamento do circuito (rede). Por meio da Figura 10b pode-se ver como essa rede linear original deverá ser

ligada a um componente ou a uma rede externa. Então, na Figura 10c está representado o circuito equivalente Thèvenin, com a fonte de tensão V_{Th} e a resistência série R_{Th} , o qual poderá ser utilizado para substituir a rede linear através dos terminais “a” e “b”.

Segundo o Teorema de Thèvenin, a polaridade (+ e -) de V_{Th} é escolhida de modo a produzir uma corrente de “a” para “b” no mesmo sentido que na rede original. A resistência R_{Th} entre os terminais “a” e “b” é calculada colocando-se, teoricamente, todas as fontes de tensão da rede original em curto circuito. O valor de V_{Th} corresponde à tensão que apareceria através dos terminais “a” e “b” da rede linear original com as fontes de tensão nos seus lugares, mas sem componentes ligados aos terminais “a” e “b”; por isso, V_{Th} também é conhecida como Tensão de Circuito Aberto.

Por fim, Boylestad (2012, p. 293) enfatiza que o Teorema de Thèvenin pode ser usado para: i) analisar circuitos onde as fontes não estão nem em série nem em paralelo; ii) minimizar a complexidade do circuito, reduzindo componentes; iii) investigar o efeito da alteração de um componente no comportamento do circuito sem necessitar fazer cálculos para todos os componentes.

Por outro lado, o Teorema de Thèvenin desperta a atenção para um fenômeno que ocorre com as fontes de tensão reais, que se refere à redução da sua tensão quando da ligação de um componente ou uma rede externa, o qual, em eletricidade, é modelado por uma resistência interna em série com uma fonte ideal. O fato é que o circuito equivalente de Thèvenin, também consiste de uma resistência em série com uma fonte de tensão, o que, de certa forma, permite uma comparação com esse modelo da resistência interna das fontes.

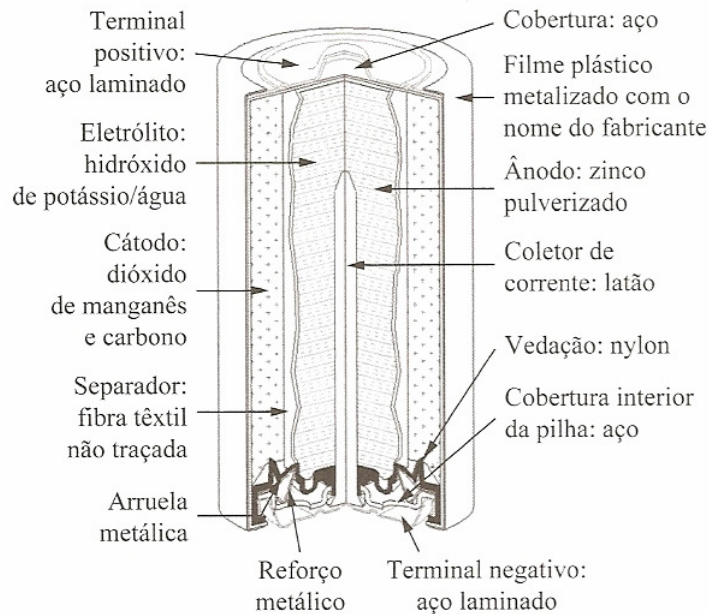
Uma característica importante desse modelo é que ele, como dito anteriormente, estabelece a diferença entre as fontes ideais, na qual essa resistência é nula ou inexistente, e as fontes reais, onde essa resistência aparece, representando um fenômeno que influencia no funcionamento dos componentes ou redes externas conectadas a essas fontes, que é a redução da tensão da fonte quando da ligação de um componente externo, como é o caso do fenômeno que observa-se nas pilhas e que foi investigado pela presente Tese.

A pilha é um componente que tem por função converter energia química em energia elétrica e, que segundo Gussow (2009, p. 109), constituiu-se de uma célula química “formada por dois eletrodos de metais ou por compostos metálicos, diferentes, e um eletrólito, que é uma solução capaz de conduzir corrente elétrica”.

Ainda, conforme Gussow (2009, p. 111), as pilhas primárias “são aquelas que não podem ser recarregadas ou não podem retornar às condições originais de funcionamento depois de sua tensão de saída ter diminuído excessivamente”.

De acordo com Boylestad (2012, p. 31) uma pilha ou “bateria alcalina primária possui um ânodo (+) de zinco pulverizado, um eletrólito de hidróxido de potássio (metal alcalino) e um cátodo (-) de carbono e dióxido de manganês”, tal como representado na figura 11.

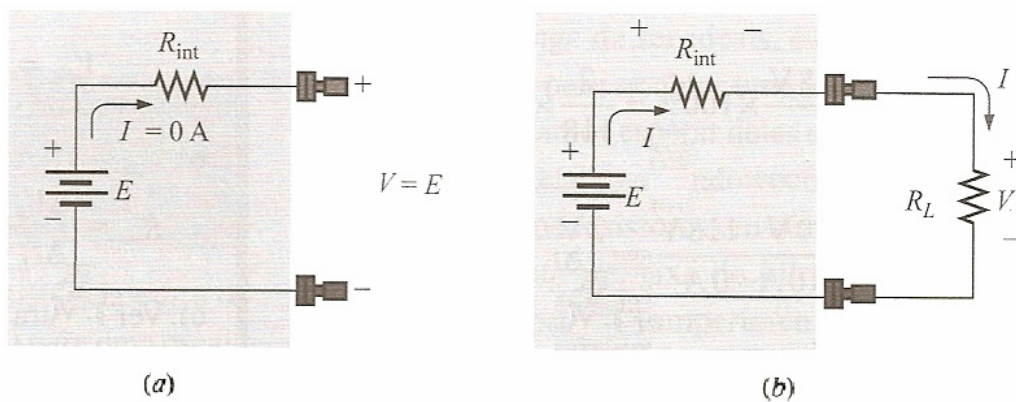
Figura 11 – Vista em Corte de uma Pilha Alcalina Cilíndrica



Fonte: Boylestad (2012, p. 32).

Na figura 12 pode-se observar a característica das fontes de tensão reais (como a pilha), a qual é modelada por uma resistência interna, tal como dito anteriormente.

Figura 12 – Fonte de Tensão Real, com Resistência Interna.



Fonte: Adaptado de Boylestad (2012, p. 137).

Nos geradores essa característica, modelada por uma resistência interna, equivale à resistência dos fios das bobinas e às demais transformações de energia elétrica em energia térmica. Já nas pilhas “a resistência do eletrólito entre os eletrodos é responsável pela maior parte da resistência interna” (GUSSOW, 2009, p. 115), mas há ainda uma influência da resistência dos materiais que constituem os eletrodos e também há o efeito das transformações de energia química em energia térmica.

Com base no circuito da figura 12a pode-se verificar que quando o Resistor R_L não está conectado aos terminais da fonte de tensão não há circulação de corrente ($I=0A$) e, assim, não há uma diferença de potencial nos terminais da resistência interna (R_{int}). Portanto, a tensão presente nos terminais da fonte (V) corresponde ao valor ideal “ E ”, que é a tensão gerada internamente por essa fonte.

Entretanto, em 12b, quando o resistor R_L é conectado aos terminais da fonte, a corrente da fonte (I) assume um valor diferente de zero, que produz então uma diferença de potencial nos terminais de R_{int} (nessa Tese denominada como queda de tensão) calculada mediante o produto da corrente (I) pelo valor da resistência interna (R_{int}). Essa queda de tensão em R_{int} , então, fará com que a tensão de saída nos terminais da fonte (V), diminua para $V=E-(I.R_{int})$. Neste sentido, Boylestad (2012, p. 136) defende que quanto maior for o valor da resistência interna maior será essa queda de tensão.

Considerando que Halliday, Resnick e Walker (2013, p. 159) afirmam que “a fonte de tensão real possui uma resistência interna que se opõe ao movimento das cargas” pode-se inferir que a ação da resistência interna também fará diminuir a corrente que a fonte pode fornecer ao circuito externo. Dessa forma, a corrente máxima fornecida pela fonte de tensão ($I_{m\acute{a}x}$), que pode ser calculada imaginando-se os terminais da fonte real em curto circuito, ficará limitada em $I_{m\acute{a}x}=E/R_{int}$.

Por fim, afirma-se a importância da compreensão do modelo da resistência interna das fontes de tensão devido a sua utilização em eletricidade e eletrônica quando se necessita identificar as relações entre uma fonte de tensão real e os componentes a ela ligados em termos de tensões, correntes e potências, tal como em circuitos de sensoriamento e instrumentação, por exemplo.

3.3 EPISTEMOLOGIA GENÉTICA

3.3.1 Aprendizagem e Construção do Conhecimento

Não é raro encontrar entre os sujeitos que estudam a teoria de circuitos elétricos lineares, mesmo em cursos técnicos de nível médio, aqueles que apresentam dificuldades em compreender as noções básicas de corrente, tensão, resistência e potência.

Provavelmente por isso, Dorneles (2005, p. 16) tenha encontrado na sua revisão de literatura 50 publicações nos últimos 20 anos sobre as dificuldades de aprendizagem e concepções alternativas dos estudantes sobre circuitos elétricos.

Cohen, Eylon e Ganiel (1983) apud Gouveia (2007, p. 48) relatam que, em sua experiência no ensino secundário e universitário, os estudantes, mesmo após um estudo sistemático e avançado de conteúdos de eletricidade, em que se tornam bastante eficientes em executar algoritmos complicados, de modo frequente são incapazes de analisar circuitos elétricos simples.

Conforme as palavras de Gouveia (2007, p.48), esses aprendizes constroem conceitos “distantes do significado científico” que são “denominados na literatura como concepções espontâneas, alternativas, pré-concepções e ou do cotidiano”, sendo estas muito “resistentes a mudanças e persistem frequentemente após longos períodos” escolares, como comprovado por estudos realizados.

Inhelder e Piaget (1976, p. 257) afirmam que, ao examinar o comportamento de estudantes que iniciam um estudo novo, pode-se constatar que a sua crença no poder do pensamento que ainda possuem pode durar muito tempo e assim, estes estudantes estão pouco dispostos a subordinar seu ponto de vista aos acontecimentos.

Coelho (2007, p. 22), como apresentado alhures, considera que essas concepções alternativas são esquemas teóricos constituídos de ideias e conhecimentos parciais ou incompletos, que são concebidos pelos sujeitos para dar significado ao mundo, o que corresponde à afirmação de Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 237) de que as situações experimentais são apreendidas de formas diferentes para cada sujeito, conforme os seus níveis cognitivos, mesmo quando as diferenças entre estes sujeitos são mínimas.

Gouveia (2007, p. 90) pondera que as dificuldades conceituais e de representação de circuitos elétricos podem estar indicando a relevância de se iniciar o ensino privilegiando o

raciocínio qualitativo (a compreensão), articulando os conceitos da teoria dos circuitos elétricos com as suas regras de representação. Neste mesmo sentido Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 261) defendem ser “a formação das operações do pensamento que acarreta o recurso aos termos de representação adequados”.

Coelho (2011, p. 23) relata que “pesquisas sobre concepções dos estudantes, realizadas em diversas partes do mundo” identificaram dois fatores que caracterizam essas concepções alternativas, quais sejam os seguintes: elas são bastante “estáveis e resistentes à mudança”, de modo que é possível encontrá-las até mesmo entre estudantes universitários; e elas apresentam “o mesmo padrão de respostas em relação a cada conceito investigado”.

Sobre a característica de o pensamento ser resistente à mudança, Inhelder e Piaget (1976, p. 249) comentam que alguns autores desenvolveram trabalhos sobre o pensamento matemático e físico do adolescente, nos quais identificaram resíduos do pensamento da criança remanescentes na fase da adolescência.

Percebe-se aí uma coerência com os estudos de Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 238), quando esses autores afirmam que os obstáculos que os sujeitos de suas pesquisas encontraram durante o desenvolvimento das noções revelaram-se muito resistentes, apesar de eles haverem utilizado métodos para facilitar sua superação, e que esses obstáculos são inerentes ao pensamento do sujeito, constituindo-se em degraus que existem entre os momentos do desenvolvimento.

A importância desses obstáculos, segundo Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 258), é que eles, por um lado, despertam a curiosidade do sujeito para o inusitado que acontece em função de uma situação nova, e, por outro, produzem contradições entre aquilo que o sujeito previa que iria acontecer e aquilo que constatou como realidade, ou seja, os observáveis. Essas contradições propiciam ao sujeito tomar conhecimento de algumas variáveis que até então ele negligenciava e pôr em dúvida julgamentos precipitados.

Conforme Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 242), “se os conflitos forem integralmente resolvidos num determinado contexto, então o sujeito poderá fazer a transposição, ou seja, poderá compreender da mesma maneira uma situação análoga”, e isso acontece porque o sujeito tomará consciência da analogia das situações e da semelhança dos conflitos entre os esquemas.

No entanto, em suas pesquisas sobre aprendizagem, Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 258) mostraram que esses conflitos ou contradições somente irão modificar o raciocínio do sujeito quando ele for capaz de inseri-los num encadeamento de inferências, para o que necessitará de certa competência na coordenação dos esquemas.

Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 259) defendem que, geralmente, os resultados das aprendizagens estão diretamente relacionados com o nível de conhecimento prévio de cada sujeito, e que, independentemente da variedade dos processos, essas aprendizagens seguem sempre as mesmas etapas, sem saltar nenhuma, conservando uma ordem hierárquica.

Para explicar esses processos, Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 263) consideram que é preciso levar em conta os mecanismos de regulação internos, porque são estes que constituem os dois polos da aprendizagem, que são a conservação das estruturas existentes e o seu enriquecimento, que ocorre para atender as necessidades de adaptação, e assim assegurando uma síntese entre as aquisições, a conservação e a transformação.

Assim, com o objetivo de demonstrar como ocorre esse processo, Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 262) apresentam o modelo do sistema epigenético, elaborado por Piaget, no qual cada nova etapa integra as precedentes, assegurando uma continuidade entre a gênese biológica e o desenvolvimento das funções cognitivas.

Nesse modelo, conforme Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 250), “é o aspecto estrutural das noções e operações subjacentes que delimita os níveis da construção cognitiva, enquanto que é o aspecto regulativo que possibilita a continuidade funcional”.

Com relação ao estímulo, Piaget (1972a, p. 5) adverte que este somente pode ser considerado como tal enquanto for significativo, e ele se torna significativo somente na medida em que há uma estrutura que permite sua assimilação, uma estrutura que pode acolher esse estímulo, mas que ao mesmo tempo produz a resposta.

Em outra obra, Piaget e Gréco (1974, p. 40) afirmam que é possível que os estímulos só possam ser apreendidos em função de esquemas que se atualizarão constituindo as respostas; ou seja, a relação entre o estímulo e a resposta consiste em uma assimilação do estímulo ao esquema da resposta.

Piaget (1972a, p. 1) anuncia que desenvolvimento e aprendizagem constituem dois problemas diferentes. O desenvolvimento do conhecimento é um processo espontâneo, ligado ao processo global da embriogênese, que, por sua vez, diz respeito ao desenvolvimento do corpo, do sistema nervoso e das funções mentais; já o processo de aprendizagem não é espontâneo, mas provocado por situações externas e limitado a um problema simples ou uma estrutura simples.

Segundo Becker (2011, p. 211), para compreender o processo de aprendizagem deve-se considerá-lo a partir do processo que lhe dá sustentação, o que significa relacioná-lo com o processo de desenvolvimento do conhecimento humano.

Assim, para compreender adequadamente o processo de aprendizagem, Becker (2011, p. 212) defende que deve-se considerar o conhecimento, principalmente, como estrutura, forma ou capacidade e não apenas como conteúdo.

Piaget (1972a, p. 7) afirma que a relação fundamental envolvida em todo o desenvolvimento e aprendizagem não é a de associação, ou seja, não é uma relação estímulo-resposta, em que, segundo Becker (2011, p. 224), sujeito e objeto continuam a ser o que eram antes. Assim, continua Piaget, a relação fundamental da aprendizagem é a assimilação, a qual ele define como a integração de uma realidade a uma estrutura.

Conforme Becker (2011, p. 216), para explicar o processo de desenvolvimento, Piaget considera que a ação vai se interiorizando devido às suas coordenações, e então começa a se transformar em uma operação, constituindo-se de coordenações inferenciais que as ações ainda não possuíam.

A operação, afirma Becker (2011, p. 216), desconstitui a noção de que o conhecimento é como uma cópia mental ou imagem, visto que, para conhecer um objeto, é necessário agir sobre ele, é preciso transformá-lo e, assim, devido a uma série de ações consecutivas, apreender os mecanismos dessa transformação, isto é, o modo como o objeto foi construído.

Neste sentido, continua Becker, a operação é a essência do conhecimento e condição para tal, visto que quando o sujeito opera irá transformar o objeto de conhecimento (assimilação) e, na mesma medida, irá transformar a si mesmo (acomodação), tendo então a possibilidade de operar num nível de maior complexidade. Assim, uma operação não é somente uma interiorização das ações, mas a composição de ações reversíveis, que dispensam a ação material.

Conforme Piaget (1972a, p. 2), os fatores responsáveis pelo desenvolvimento, são quatro: a maturação, a experiência, a transmissão social e a equilíbrio.

Piaget (1972a, p. 3) considera que a maturação é o resultado de processos físicos e biológicos do desenvolvimento do sistema nervoso, e como tal, é condição necessária, mas não suficiente, para explicar o desenvolvimento das estruturas cognitivas, pois, se o desenvolvimento se reduzisse somente à maturação, todas as aquisições deveriam ocorrer mais ou menos na mesma idade em todas as pessoas.

Com relação à experiência, Piaget (1972a, p. 3) afirma que existem duas espécies: a física ou empírica e a lógico-matemática. A experiência física ou empírica consiste em agir sobre os objetos e construir algum conhecimento sobre eles mediante abstração, retirando deles qualidades que lhes são próprias, ou que já existiam neles antes da ação do sujeito. Já a experiência lógico-matemática, consiste em construir o conhecimento a partir de propriedades

atribuídas ao objeto pelas ações próprias do sujeito e não mais como uma propriedade intrínseca do objeto (BECKER, 2011, p. 219). Portanto, nesse caso, a gênese dos processos não pode ser atribuída à experiência empírica, mas sim às coordenações gerais das ações; ou seja, ela é uma experiência das ações do sujeito e não uma experiência de objetos em si mesmos.

A transmissão social é o terceiro fator do desenvolvimento (PIAGET, 1972a, p. 4), mas não é um fator exclusivo, pois, por exemplo, uma criança pode receber valiosa informação via linguagem, mas somente será bem sucedida na compreensão da expressão linguística quando ela, por si mesma, se apoderar com firmeza da estrutura lógica necessária para tal intento.

A equilíbrio, conforme Piaget (1972a, p. 5), também é um fator do desenvolvimento por duas razões: primeiro, porque os outros três fatores devem, de algum modo, estar equilibrados; e, segundo, porque, ao defrontar-se com uma perturbação externa, o sujeito reagirá, a fim de compensar, tendendo, então, para o equilíbrio.

Segundo Becker (2011, p. 221), se o sujeito não se esforça para superar um desafio realizando uma acomodação (transformação nele mesmo) e se o meio não oferece condições para isso, o desenvolvimento não irá avançar, ou avançará aquém das possibilidades. Em suma, o desenvolvimento acontece devido à ação do sujeito, que atingiu a maturação do seu sistema nervoso e procede a assimilações e acomodações (equilíbrio) mediante experiências físicas e lógico-matemáticas possibilitadas pelo meio social.

Para Becker (2011, p. 226), “a aprendizagem não é apenas assimilação, é acomodação dos esquemas de assimilação”. A aprendizagem relaciona capacidade estrutural ou inteligência com experiência. Quando o sujeito constrói um novo esquema ou uma nova estrutura, passa a aplicar essa capacidade na investigação de novidades, antes inacessíveis.

Concluindo, Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 263) definem que “aprender é proceder a uma síntese indefinidamente renovada entre a continuidade e a novidade”, e Piaget e Gréco (1974, p. 40) afirmam que “a aprendizagem é um processo adaptativo que se desenvolve no tempo, em função das respostas dadas pelo sujeito a um conjunto de estímulos anteriores e atuais”, ou, ainda, que “é uma aquisição em função da experiência, mas se desenvolvendo no tempo, ou seja, é mediata e não imediata, como a percepção ou a compreensão instantânea” (PIAGET; GRÉCO, 1974, p. 53).

3.3.2 O Pensamento do Adolescente

Inhelder e Piaget (1976, p. 249) comentam que o pensamento do adolescente pode apresentar uma característica de resistir à mudança, e falam de investigações sobre o pensamento matemático e físico do adolescente nas quais foram identificados resíduos remanescentes do pensamento da criança na fase da adolescência.

Em outro momento, ao comparar o pensamento concreto da criança com o pensamento formal do pré-adolescente ou do adolescente, Inhelder e Piaget (1976, p. 185), fundamentados nas suas pesquisas, afirmam que a principal característica deste pensamento formal é o papel atribuído ao possível, com relação às verificações da realidade, constituindo-se em uma nova forma de equilíbrio.

O pensamento concreto, de acordo com Inhelder e Piaget (1976, p. 188), continua ligado ao real, suportando somente um conjunto pequeno de transformações virtuais, ou seja, ele só é capaz de chegar a uma noção do possível que vem a representar uma extensão não muito grande do real. Já o pensamento formal, desenvolvido na adolescência, produz uma inversão de sentido entre o real e o possível, uma vez que, em lugar do possível se manifestar simplesmente sob a forma de um prolongamento do real ou das ações executadas na realidade, é o real que se subordina ao possível.

Inhelder e Piaget (1976, p. 189) afirmam que, no pensamento formal, as deduções não ficam mais restritas somente ao que se percebe da realidade, mas também passam a alcançar possibilidades hipotéticas, isto é, proposições que se referem a hipóteses. Neste caso, a dedução consiste em estabelecer relações entre essas suposições e a partir daí deduzir suas consequências, o que pressupõe uma reflexão da inteligência sobre si mesma, caracterizando o pensamento formal como um pensamento essencialmente hipotético-dedutivo.

Neste sentido, Inhelder e Piaget (1976, p. 189) defendem que, em vez de se apresentar ao sujeito que possui um pensamento formal uma operação concreta, com objetos manipuláveis que servem de apoio para a operação, bastaria apresentar a ele somente proposições, visto que uma propriedade significativa do pensamento formal é referir-se a elementos verbais e não mais direta e exclusivamente aos objetos.

Portanto, segundo Inhelder e Piaget (1976, p. 188), no momento em que se substituem os objetos por seus correspondentes elementos verbais, prioriza-se a lógica das proposições, ou seja, a lógica das classes e das relações que se referem a esses objetos. Essa lógica, que contém as coordenações operatórias necessárias à ação, é representada pela característica de

estabelecer relações entre relações e não mais relações com os objetos, constituindo um sistema de combinações hipotético-dedutivas que impõe o possível ao real.

Pode-se, então, identificar o pensamento hipotético-dedutivo, ou pensamento formal, como aquele em que se fazem presentes, dentre outros, o raciocínio hipotético-dedutivo, o pensamento verbal, a lógica de proposições e a reflexão sobre si mesmo.

Conforme Inhelder e Piaget (1976, p. 212), após o pensamento concreto ter se estruturado em domínios qualitativamente heterogêneos, esses domínios começam a interferir de múltiplas maneiras nas mais diversas situações. Isto acontece porque, enquanto as operações concretas só conseguem trabalhar conteúdo por conteúdo, a realidade provoca uma mistura de conteúdos, o que ocasiona o desenvolvimento de novos instrumentos operatórios, caracterizando, então, a passagem do concreto ao formal.

Inhelder e Piaget (1976, p. 212) ainda relatam que quando a realidade impõe essa mistura de conteúdos, o sujeito passa a utilizar dois métodos: no primeiro, busca dissociar a realidade bruta, procurando coordenar entre si os resultados das operações concretas, isto é, o sujeito procura eliminar as contradições aparentes quando seus respectivos conteúdos interferem entre si de maneira complexa. No segundo, o sujeito busca coordenar os agrupamentos de classes e relações características dos agrupamentos concretos num único sistema total, o que o leva, então, à descoberta da lógica das proposições.

Assim, segundo Inhelder e Piaget (1976, p. 219), a partir do momento em que o sujeito começa a coordenar os agrupamentos concretos num sistema único, o pensamento se constitui como formal porque passa a se referir também a combinações possíveis e não mais somente aos objetos em si mesmos. Mesmo que as primeiras tentativas de pensamento formal ainda sejam muito desorientadas e incompletas, elas dirigem-se para a busca de uma nova forma de equilíbrio.

Inhelder e Piaget (1976, p. 251) afirmam que parece estar claro que o desenvolvimento das estruturas de pensamento formal da adolescência esteja relacionado com a maturação do sistema nervoso, pois esse sistema é que determina os limites do que é possível e do que não é possível em um determinado ambiente social. No entanto, segundo esses autores, o desenvolvimento dessas estruturas de pensamento não depende somente de fatores neurológicos, mas também das condições culturais e educativas do meio social, que poderão afetar o desenvolvimento do sujeito.

Assim, segundo Inhelder e Piaget (1976, p. 251), considerando esse processo circular de interação entre o sistema nervoso e o ambiente social, pode-se chegar a duas constatações: em primeiro lugar, pode-se verificar que as estruturas formais não são inatas e nem

representações coletivas que já existiam externamente aos indivíduos, mas que são formas de equilíbrio que vão aos poucos se impondo à relação existente entre os indivíduos e o meio físico e também entre os próprios indivíduos. Em segundo lugar, constata-se que na relação entre o sistema nervoso e a sociedade também deve se considerar o conjunto das experiências e dos exercícios feitos pelo indivíduo, que são necessários para que ele possa se adaptar simultaneamente ao mundo físico e ao mundo social.

Inhelder e Piaget (1976, p. 254) afirmam que em virtude do adolescente ter desenvolvido a capacidade de refletir sobre seu próprio pensamento, suas reflexões lhe permitem fugir do concreto na direção do abstrato e do possível, e assim ele apresenta uma necessidade de construir teorias ou de reconstruí-las. Conforme esses autores, o adolescente julga ser indispensável chegar a uma concepção das coisas que lhe possibilite afirmar-se e criar, garantindo que ele terá mais êxito que seus antecessores.

De acordo com Inhelder e Piaget (1976, p. 255), a inteligência operatória formal apresenta uma forma superior de egocentrismo, que se caracteriza por uma impossibilidade do sujeito em diferenciar, num primeiro momento, os seus pontos de vista do ponto de vista do outro. *A posteriori* esse egocentrismo poderá ser superado por um processo de descentração dirigido para a objetividade e para a reciprocidade.

Os autores ainda afirmam que essa forma superior de egocentrismo, apresentada pelo adolescente, é consequência inevitável de sua integração na vida social adulta, pois este não procura apenas adaptar seu eu ao ambiente social, mas também adaptar o ambiente social a si mesmo. Assim, ao pensar no ambiente em que se localiza, pensará em sua atividade social e nos meios de transformá-lo, ocasionando, então, uma relativa indiferenciação entre o seu ponto de vista, como indivíduo chamado a construir seu programa de vida, e o ponto de vista do grupo que ele deseja transformar.

Nesse plano de pensamento formal acontece, conforme Inhelder e Piaget (1976, p. 256), uma ampliação da capacidade de reflexão, a qual possibilita o desenvolvimento da lógica das proposições, que leva, inicialmente, a essa indiferenciação entre a nova capacidade e o universo social ou cósmico, que é o objeto de sua reflexão.

Assim, segundo Inhelder e Piaget (1976, p. 257), em função do egocentrismo do seu pensamento, o adolescente entra em uma fase em que acredita que seu pensamento possui um poder ilimitado quando começa a pensar em um futuro glorioso ou em transformar o mundo através de suas ideias. Para o adolescente isso não parece somente um ato de conhecimento, mas também uma ação que pode efetivamente modificar a realidade.

É mediante o ingresso em uma atividade ou trabalho profissional que o adolescente iniciará o seu processo de descentração tanto no plano social como no plano do pensamento (INHELDER; PIAGET, 1976, p. 257), pois, ao executar uma tarefa efetiva esse adolescente irá se tornando adulto, transformando sua conduta reformadora idealista em um comportamento realizador.

Inhelder e Piaget (1976, p. 260) consideram que as características essenciais da conduta do adolescente, sob o ponto de vista cognitivo ou do pensamento, são o programa de vida e o plano de reformas dos adolescentes, visto que esses são, ao mesmo tempo, o motor afetivo da formação da sua personalidade. Conforme os autores, um plano de vida é, em primeiro lugar, uma escala de valores que irá subordinar alguns ideais a outros e, ainda, deverá subordinar os valores meios aos fins. Essa escala de valores é a organização afetiva que corresponde à organização intelectual da obra que o recém-chegado ao universo social pretende realizar. Em segundo lugar, um plano de vida é uma afirmação de autonomia moral conquistada pelo adolescente, que se considera igual aos adultos, sendo este um outro aspecto afetivo essencial da personalidade nascente que se prepara para enfrentar a vida.

3.3.3 A Coordenação dos Pontos de Vista

Conforme Piaget (1977, p. 197) a passagem do inconsciente para o consciente exige reconstruções que não se reduzem a um processo de iluminação; assim, “a tomada de consciência de um esquema de ação o transforma num conceito, essa tomada de consciência consistindo, portanto, essencialmente, numa conceituação”. Lembrando ainda que Piaget (1967a, p. 16) define esquema de ação como: “aquilo que, em uma ação, é, assim, transponível, generalizável ou diferenciável de uma situação à seguinte, dito de outro modo, o que há de comum às diversas repetições ou aplicações da mesma ação”.

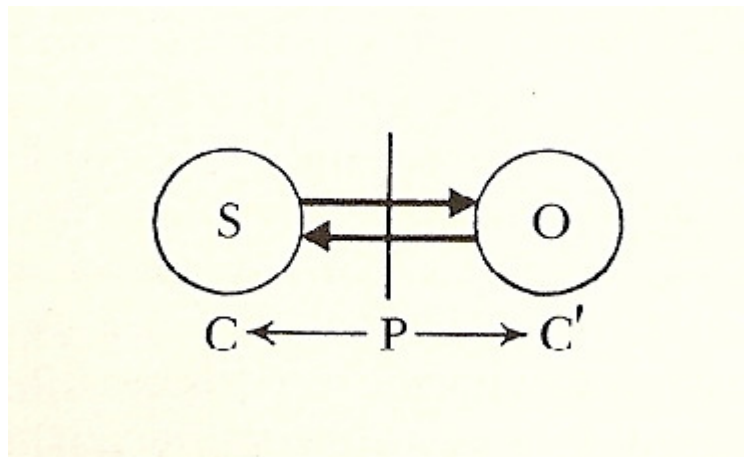
Por outro viés, segundo Piaget (1977, p. 198), o que desencadeia a tomada de consciência é que as regulações automáticas, que são aquelas que ocorrem por correções parciais, negativas ou positivas, de meios que estão atuando, já não são suficientes para resolver os conflitos cognitivos, e então é preciso desenvolver uma regulação mais ativa, que resulte de escolhas deliberadas, pressupondo que se deve, então, recorrer à consciência.

De acordo com Piaget (1977, p. 197), “embora a tomada de consciência não se constitua apenas de inaptações, são os fatores de inaptação que ocasionam a tomada de consciência, pois as generalizações baseadas nas semelhanças se adaptam normalmente”.

Piaget (1977, p. 198) lembra que também existem as tomadas de consciência tardias, nas quais as inaptações não interferem nas ações, pois quando o sujeito se determina a alcançar um objetivo, isso acontece de forma consciente. Nesse caso, segundo o autor, não é possível afirmar que o fato de o sujeito ter escolhido ou ter aceitado um desafio ou um novo objetivo deve indicar, obrigatoriamente, uma inaptação.

Conforme Piaget (1977, p. 198), considerando-se, primeiro, do ponto de vista da ação material para, em seguida, considerar o pensamento como uma interiorização dos atos, a lei geral que se pode identificar é que a tomada de consciência procede da periferia para o centro. Piaget explica que a definição desses termos deve-se a dois fatores: primeiro, acontece que os fatores internos escapam, de imediato, à consciência do sujeito, e segundo que, ficando-se no âmbito das suas reações, o conhecimento não procede dele e nem do objeto, mas da interação entre os dois. Portanto, o conhecimento procede a partir do ponto P (vide Figura 13), que é periférico tanto em relação ao sujeito (S) quanto em relação ao objeto (O).

Figura 13 – Interação entre Sujeito e Objeto



Fonte: Piaget (1977, p. 199).

Assim, Piaget (1977, p. 198) afirma que a periferia não pode ser estipulada nem pelo sujeito nem pelo objeto, mas pela reação do sujeito em relação ao objeto, o qual a utiliza em conformidade com um objetivo e apreende o resultado, assimilando esse objeto a um esquema. Esses dois termos, segundo Piaget, são conscientes em toda ação intencional, entretanto podem permanecer inconscientes quando for o esquema que desencadear a

utilização dos meios, pois, nesse caso, o sujeito consegue alcançar o seu objetivo, mas não sabe como procedeu.

Piaget continua, afirmando que a tomada de consciência parte da periferia, portanto, da busca de um objetivo ou resultado, orientando-se para as regiões centrais da ação do sujeito (C). Nesse movimento, procura alcançar o mecanismo interno dessa ação, ou seja, o reconhecimento dos meios empregados, os motivos de sua escolha ou de sua modificação durante a experiência, dentre outros, enquanto que o conhecimento do objeto orienta-se somente para as propriedades intrínsecas deste.

De acordo com Piaget (1977, p. 199), a tomada de consciência parte da busca de um objetivo, com a constatação de um êxito ou de um fracasso. Em caso de fracasso, busca-se verificar porque ele ocorreu, o que leva à tomada de consciência da ação. A partir de um dado de observação relativo ao objeto, o sujeito vai procurar identificar os pontos em que houve falha da adaptação do esquema ao objeto. A partir do dado de observação relativo à sua ação, o sujeito vai concentrar sua atenção nos meios empregados e em suas correções ou eventuais substituições. Assim, por meio de um vaivém entre o objeto e a ação, a tomada de consciência aproxima-se, passo a passo, do mecanismo interno da ação, ou seja, da periferia ao centro.

De outro modo, a constatação de um êxito resulta do próprio processo assimilador, sem nenhuma inadaptação, pois o progresso da consciência não está ligado às dificuldades da ação. Segundo Piaget (1977, p. 199), o fato de o sujeito determinar para si mesmo um objetivo em relação a um objeto já é assimilar esse objeto a um esquema. Na medida em que o objetivo e o resultado permitem que se desencadeie a consciência, embora permanecendo generalizáveis em ação, o esquema se torna conceito.

Nesse caso, segundo Piaget (1977, p. 200), “a característica inevitável da necessidade de explicação causal não pode ser reservada unicamente ao domínio dos objetos, visto que estes só são conhecidos através das ações”.

Portanto, Piaget (1977, p. 200) afirma que a lei que define a direção da periferia para o centro da ação do sujeito e para o centro do objeto não pode estar restrita à tomada de consciência da ação material. Embora nesse nível inicial da ação material já haja passagem da consciência do objetivo (e dos resultados) à consciência dos meios, essa interiorização da ação leva a uma consciência dos problemas a resolver, e daí à consciência dos meios cognitivos (e não mais os meios materiais) empregados para resolvê-los.

Piaget (1977, p. 204) então afirma que, como a tomada de consciência procede da periferia para o centro da ação, e como o seu mecanismo é semelhante ao do conhecimento dos objetivos, então o sujeito somente poderá conhecer a realidade a partir do fenômeno, das

aparências com as quais ele se apresenta ao sujeito. Somente depois disso é que ele poderá buscar o conhecimento da natureza intrínseca das coisas e de suas conexões causais, pois ambas ultrapassam o campo dos dados de observação, exigindo seguir em direção às regiões centrais do objeto. Essas relações complexas interessam tanto ao problema da tomada de consciência da ação quanto ao da construção geral dos conhecimentos.

No que se refere ao processo funcional, Piaget (1977, p. 205) relata que, partindo de casos estudados, encontrou, desde os níveis iniciais e em todos esses níveis, um intercâmbio entre o que os dados de observação fornecem à ação e ao objeto e, depois, entre as coordenações relativas a uns e aos outros.

Conforme Piaget (1977, p. 205), os dois únicos elementos presentes no início do processo são os objetivos buscados pela ação e o resultado obtido, sendo que ambos dependem, ao mesmo tempo, do esquema de assimilação ao qual é incorporado o objeto e das características desse objeto. Nesse processo, Piaget (1977, p. 206) ainda observou mais duas coisas: em primeiro lugar, que no início os meios empregados permanecem despercebidos, sobretudo se são desencadeados automaticamente pelo esquema que determina o objetivo; em segundo lugar, que a tomada de consciência desses meios realiza-se a partir dos dados de observação relativos ao objeto, portanto da análise dos resultados.

Assim, Piaget (1977, p. 206) conclui que será a análise dos meios, portanto, dos dados de observação relativos à ação, que vai fornecer o essencial das informações sobre o objeto, e, pouco a pouco, a explicação causal de seu comportamento. Dessas observações, pode-se inferir dois processos gerais: primeiro, uma ação recíproca, mas alternada, dos dados de observação do objeto sobre os da ação, e vice-versa; e, em seguida, desde que seja estabelecido relacionamento entre eles, seguem-se coordenações inferenciais, que ultrapassam o campo dos dados de observação e permitem ao sujeito compreender causalmente os efeitos observados.

Piaget (1977, p. 207) comenta que um dos resultados de suas pesquisas, ao lado da análise da tomada de consciência, consistiu em mostrar que a ação, em si mesma, constitui um saber autônomo e eficaz. Muito embora se trate de apenas de um *savoir faire* e não de um conhecimento consciente, no sentido de uma compreensão conceituada, esse saber constitui a fonte dessa conceituação. Isso ocorre porque a tomada de consciência se encontra em atraso em relação à ação em quase todos os pontos e, com frequência, de forma muito sensível, em relação a esse saber inicial.

Segundo Piaget (1977, p. 207), constata-se que, no plano da ação, as reações iniciais consistem em proceder por meio de esquemas isolados de assimilação, com esforço para

relacioná-las ao objeto, mas não indo além de acomodações momentâneas. O progresso ocorre mediante o desenvolvimento de coordenações que procedem, primeiro, por assimilações recíprocas dos esquemas utilizados e depois se orientam na direção de formas cada vez mais gerais, com independência em relação ao conteúdo, o que caracteriza as estruturas operatórias de conjunto, com suas leis de composição.

Assim, Piaget (1977, p. 208) fala de uma passagem gradativa da periferia para o centro, desde o nível da ação em si mesma, enfatizando que essa periferia deve ser localizada na zona de interação da ação com os objetos, ao passo que as regiões centrais devem ser situadas nas fontes do comportamento e das estruturas operatórias. Nos dois casos, tanto da ação como de sua conceituação, o mecanismo formador é, ao mesmo tempo, retrospectivo, porque retira seus elementos de fontes anteriores, e construtivo, visto que produz novas ligações.

Portanto, continua Piaget (1977, p. 208), “encontramo-nos em presença de mecanismos análogos que se repetem, mas com grandes defasagens cronológicas, em dois e mesmo três níveis sucessivos, rigorosamente hierarquizados”.

De acordo com Piaget (1977, p. 208) “o primeiro desses níveis é o da ação material sem conceituação”. Neste nível, as construções remetem a estruturas operatórias fundamentais em suas capacidades de coordenação, mas que ainda escapam à consciência do sujeito. Embora esse nível possa parecer como uma espécie de começo absoluto, isso não ocorre, pois ele está ligado por todos os intermediários às fontes orgânicas das quais tira sua matéria.

No nível da ação material, conforme Piaget (1977, p. 209), o processo de interiorização remete “a assimilações recíprocas de esquema e a coordenações cada vez mais centrais”, entre o sujeito e os objetos, as quais levam à construção de uma espécie de lógica dos esquemas, anterior à linguagem e ao pensamento. Nesse contexto já se encontram em atuação os grandes tipos de conexão, que são as relações de ordem, os encaixes de esquemas, as correspondências, as intersecções, uma certa transitividade, enfim, os principais ingredientes das futuras estruturas operatórias.

Já o processo de exteriorização, segundo esse autor, é marcado, desde os níveis sensorio-motores, por acomodações cada vez maiores dos esquemas de assimilação aos objetos, com a construção das condutas instrumentais, de estruturas físicas de espaço e tempo, e de uma causalidade objetiva e espacializada.

Para Piaget (1977, p. 208), “o segundo nível é o da conceituação, que tira seus elementos da ação em virtude de suas tomadas de consciência, mas a eles acrescenta tudo o que comporta de novo o conceito em relação ao esquema”.

No nível da conceituação, segundo Piaget (1977, p. 210), o movimento de interiorização é marcado, inicialmente, por um processo de tomada de consciência da própria ação, portanto, de interiorização das ações materiais por meio de representações semiotizadas (linguagem, imagens mentais, etc.); entretanto, na medida em que ocorrem os progressos da ação, essa tomada de consciência se polariza em função dos dois tipos possíveis de abstrações: a abstração empírica e a abstração refletidora.

Assim, a abstração empírica, conforme Piaget (1977, p. 210), fornece uma conceituação descritiva dos dados de observação constatados materialmente na ação, ao passo que a abstração refletidora extrai das coordenações da ação o que precisa para construir as coordenações inferenciais que, no nível do conceito, permitem relacionar e interpretar esses dados de observação. Dessa forma é que a conceituação se torna operatória, mas com a ressalva de que, embora ela se torne capaz de desenvolver certos raciocínios e estruturações (seriações, classificações, números) de forma operatória, as estruturas subjacentes que permitem essas aplicações permanecem inconscientes, bem como o próprio mecanismo da abstração refletidora.

No que se refere ao movimento de exteriorização, Piaget (1977, p. 210) comenta que ele dá origem a dois processos análogos. Por um lado, a abstração empírica fornece a representação de seus dados de observação a partir dos objetos, dos fatos ou acontecimentos, bem como as funções, relações suscetíveis de repetição e a legalidade. Por outro lado, a abstração refletidora, que é a responsável pelas estruturações de formas operatórias, permite uma interpretação dedutiva dos acontecimentos em relação aos objetos. Entretanto, essas atribuições das interpretações ainda permanecem inconscientes, do ponto de vista do próprio sujeito, assim como o são as estruturas operatórias, em suas inferências lógico-matemáticas.

Com respeito ao terceiro nível, contemporâneo das operações formais, Piaget (1977, p. 208) afirma ser “o nível das abstrações refletidas (como produtos conscientes das abstrações refletidoras)”. Neste nível, a tomada de consciência começa a tornar-se também uma reflexão do pensamento sobre si mesmo e o seu mecanismo formador, o qual consiste em operações novas, mas realizadas sobre as operações existentes, demonstrando que se trata de abstrações a partir do nível precedente, mas compostas e enriquecidas segundo novas combinações.

Segundo Piaget (1977, p. 210), a característica de domínio lógico-matemático significa que, em função desse movimento de interiorização, o sujeito se torna capaz de teorizar e não mais, somente, pensar em termos de objetos concretos, embora estruturados logicamente, e a razão dessa modificação é seu novo poder de elaborar operações sobre as operações.

Conforme Piaget (1977, p. 211), “do ponto de vista da exteriorização, ele se torna apto a fazer variar os fatores em suas experimentações e a considerar os diversos modelos possíveis para a explicação de um fenômeno, com o risco de submetê-los ao controle dos fatos”.

Piaget (1977, p. 209) adverte que, muito embora em cada um desses níveis se constituam diversas coordenações por assimilação recíproca dos esquemas, primeiro práticos e motores e depois conceituais, as quais pode-se denominar como transversais, existem também as assimilações recíprocas longitudinais, com ação de volta ao nível precedente do que é construído no seguinte. Assim, uma conceituação num nível posterior tira seus elementos das ações do nível anterior, mas, num determinado nível, ela age retroativamente sobre as ações, dirigindo-as em parte e fornecendo-lhes planos de conjunto e, até mesmo, a ideia de meios novos que a ação vai ajustar segundo suas próprias regulações.

Piaget (1972b, p. 7) também ressalta que é altamente provável que um sujeito possa pensar formalmente as questões relativas a um determinado campo do conhecimento do qual ele tenha interesse ou lhe seja familiar, enquanto que, diante de situações experimentais, num campo estranho a esse sujeito, sua falta de conhecimento, ou o fato de que ele tenha esquecido certas ideias, pode impedi-lo de raciocinar de maneira formal. Assim, para aprender novos conhecimentos, provavelmente o sujeito terá que iniciar a partir do nível concreto em direção ao formal.

3.4 PROPOSIÇÕES TEÓRICAS

Conforme visto na Introdução dessa Tese, a questão principal desta investigação é identificar “Como os processos cognitivos do sujeito se evidenciam, ou se explicitam, na aprendizagem de circuitos elétricos lineares?”. Esses processos serão observados através de uma entrevista inspirada no método clínico, adaptado com foco no objetivo da pesquisa para estudantes do terceiro ano do ensino médio de um curso técnico em eletrônica. Essa entrevista será aplicada durante a execução de um experimento prático de circuitos elétricos lineares submetido a diferentes condições de funcionamento.

As leituras feitas na revisão bibliográfica deste projeto contribuíram também para delimitar esta investigação, identificando proposições que vieram a apontar para as questões

teóricas específicas que deverão ser examinadas dentro do escopo deste estudo, com o objetivo de responder o problema de pesquisa (YIN, 2001, p. 33).

A proposição inicial é que possivelmente se encontrará patamares ou níveis de construção cognitiva com continuidade funcional nos processos de aprendizagem dos estudantes sobre circuitos elétricos lineares e que esses patamares irão corresponder aos três níveis apresentados por Piaget (1977, p. 208): i) ação material sem conceituação; ii) conceituação; iii) operações formais. Deve-se considerar ainda que esses sujeitos estarão frente a uma situação experimental (PIAGET, 1972b, p. 7) que, embora seja conhecida, será abordada numa outra perspectiva, a qual exigirá explicações que poderão demonstrar evidências de compreensão em cada um desses respectivos níveis.

No primeiro nível, da ação material sem conceituação, composto por estruturas operatórias que ainda escapam à consciência do sujeito, possivelmente se encontrará as situações em que o sujeito tentará resolver o problema do circuito elétrico. Neste nível, possivelmente, o sujeito poderá ter chegado a uma solução ou não, mas não saberá explicar como fez, muito menos porque adotou aquele caminho, e, ainda não saberá avaliar se a resposta está adequada aos conceitos científicos.

O segundo nível é o da conceituação, que se refere à tomada de consciência da própria ação, portanto, de interiorização das ações materiais por meio de representações semiotizadas.

Com relação à entrevista, inspirada no método clínico, realizada durante a execução do experimento prático e à entrevista semiestruturada realizada após a atividade escrita, possivelmente se constatará que os sujeitos chegarão a uma solução. Que eles demonstrarão como fizeram a análise e o modelamento matemático, seja dos conceitos elétricos ou do sistema de equações, mas não saberão explicar as razões de terem seguido aquele caminho, nem avaliar a adequação da solução aos conceitos científicos.

No que se refere à atividade de avaliação escrita, a proposição é que se encontrarão as soluções que obtiveram sucesso ou não, e que talvez não apresentassem evidências suficientes para que se possa comprovar se o sujeito efetuou corretamente o modelamento matemático, tanto dos conceitos elétricos como do sistema de equações. Do mesmo modo, acredita-se que não será possível obter evidências que possam comprovar se o sujeito saberia explicar como fez a análise e o modelamento matemático, se ele saberia explicar porque seguiu por aquele caminho e se ele saberia avaliar se a resposta está adequada ou não. Nesse caso, essas informações serão obtidas através da entrevista semiestruturada realizada após essa atividade, como descrito anteriormente.

Finalmente, no terceiro nível, que é o das operações formais, a tomada de consciência começa a tornar-se, também, uma reflexão do pensamento sobre si mesmo. Os sujeitos conseguem elaborar operações sobre operações, e então poderão fazer variar os fatores em suas experimentações e, assim, considerar os diversos modelos possíveis para a explicação dos fenômenos.

Acredita-se que, nesse nível, no tocante à entrevista orientada pelo método clínico e à entrevista semiestruturada, se encontrará as conceituações mais elaboradas e mais alinhadas com os conceitos científicos da Teoria de Circuitos Elétricos Lineares e de Sistemas de Equações e se constatará que os sujeitos chegaram à solução correta. Supõe-se que eles saberão explicar como fizeram a análise e o modelamento matemático tanto dos conceitos elétricos como do sistema de equações, que saberão explicar as razões de terem seguido aquele caminho, e que conseguirão avaliar a adequação da solução aos conceitos científicos.

No que se refere à atividade de avaliação escrita, a proposição é que se encontrará as soluções que obtiveram sucesso e que apresentam evidências para comprovar que o sujeito efetuou corretamente o modelamento matemático, tanto dos conceitos elétricos como do sistema de equações. Entretanto, assim como no segundo nível, imagina-se que não será possível obter evidências para comprovar se o sujeito saberá explicar como fez a análise e o modelamento matemático, se ele saberá explicar porque seguiu por aquele caminho e se ele saberá avaliar a adequação da sua resposta ao esperado. Nesse caso, essas informações também serão obtidas através da entrevista semiestruturada realizada após essa atividade.

Espera-se que, de forma semelhante aos estudos de Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 58), se encontrará diferentes níveis em diferentes sujeitos, mas sugerindo uma ordem hierárquica e sequencial de etapas, e que se constatará, nessas etapas, certos obstáculos que são as concepções alternativas, as dificuldades conceituais e as dificuldades de representação de circuitos elétricos (COELHO, 2007, 2011; DORNELES, 2005; GOUVEIA, 2007). Imagina-se verificar que esses obstáculos são muito resistentes às mudanças e que podem ser degraus necessários entre esses momentos do desenvolvimento.

Presume-se que se verificará que esses obstáculos poderão produzir contradições entre as predições ou julgamentos dos sujeitos e a constatação dos observáveis, mas que esses fenômenos somente irão modificar o seu raciocínio, na medida em que os sujeitos forem capazes de inseri-los num encadeamento de inferências, ou seja, somente na medida em que houver uma estrutura que permita a sua assimilação.

Apesar de o experimento a ser utilizado apresentar uma situação diferente, mas análoga, às situações contidas na maioria dos livros didáticos, acredita-se que somente

ocorrerão transposições se os conflitos cognitivos estiverem integralmente resolvidos e, ainda, se os sujeitos tomarem consciência da analogia entre a situação nova e a conhecida.

Acredita-se ver nas respostas dos sujeitos as características do pensamento formal citadas por Inhelder e Piaget (1976, p. 188): referência a elementos verbais em oposição a objetos; raciocínio hipotético-dedutivo; lógica de proposições e autorreflexão da inteligência.

Espera-se encontrar nas respostas desses adolescentes uma forma superior de egocentrismo caracterizado por uma indiferenciação entre o seu ponto de vista e o ponto de vista do outro, a qual poderá se manifestar cognitivamente através de suas conceituações sobre os fenômenos, mediante respostas aos questionamentos. Imagina-se existir a possibilidade de que esse egocentrismo possa ser superado pelo sujeito devido a um processo de descentração que poderá ocorrer quando esse realizar as tarefas propostas.

Com relação à tomada de consciência que, segundo Piaget (1977, p. 207) se encontra em quase todos os pontos em atraso em relação à ação, supõe-se que se poderá identificá-la analisando as respostas do sujeito aos questionamentos, bem como a conceituação do sujeito sobre os seus esquemas de ação (PIAGET, 1967a, p. 16).

Também pretende-se fazer essa identificação verificando quando os fatores internos escapam, de imediato, à consciência do sujeito que poderá vir a alcançar o seu objetivo sem saber como procedeu, quando ele utilizar as regulações automáticas (por correções parciais, negativas ou positivas, de meios já em atuação) para solucionar as contradições, e quando ele buscar novos meios mediante uma regulação mais ativa, fonte de escolhas deliberadas, o que supõe a consciência. Nesse último caso, imagina-se poder identificá-las através da formação de coordenações inferenciais, que não são constatadas pelo sujeito através dos dados de observação, mas que são deduzidas de suas composições operatórias, extraídas das coordenações gerais de suas próprias ações.

Como outra forma para constatar as tomadas de consciência, pretende-se verificar se o sujeito reconhecerá os meios empregados para a solução, os motivos da escolha e as razões de modificá-los, enquanto ele realizar as atividades e ao elaborar o modelo matemático.

4 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Como dito alhures, essa Tese tem por objetivo investigar a construção do conhecimento de estudantes na área tecnológica a partir de um tema específico de eletricidade, que é a análise de circuitos elétricos lineares em corrente contínua, procurando responder à seguinte questão de pesquisa: “Como os processos cognitivos do sujeito se evidenciam, ou se explicitam, na aprendizagem de circuitos elétricos lineares?”.

Neste capítulo apresenta-se um estudo preliminar sobre o tema e descreve-se os passos que nortearam o desenvolvimento da pesquisa inspirado na proposta de Deslandes *et al* (1999, p.42), que orienta que a metodologia deverá descrever tanto os métodos e técnicas utilizados como indicar as opções e a leitura operacional que o pesquisador fez do quadro teórico.

O interesse do pesquisador por investigar os processos cognitivos na aprendizagem de circuitos elétricos lineares foi gerado por sua trajetória profissional, como apresentado no capítulo inicial dessa Tese, e está coerente com a problematização do tema nos COBENGES de 2007 a 2011, no Banco de Teses e Dissertações da CAPES, no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, no Portal de Periódicos da CAPES em inglês, nos Parâmetros Curriculares Nacionais tanto no Ensino Fundamental como no Ensino Médio, nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio, no Catálogo Nacional dos Cursos Técnicos e na Legislação Básica da Educação Profissional e Tecnológica.

O tema possui também um papel central no Curso de Técnico em Eletrônica, tanto no que tange à formação profissional e à natureza das atividades, destacadas pela legislação, como no que se refere à sua posição na Matriz Curricular. Nesse último caso, constatou-se que o tema é estudado diretamente ou como pré-requisito em aproximadamente 73% da carga horária total das disciplinas da Área Técnica de um Curso Técnico de Eletrônica de uma Escola Técnica da Região Metropolitana de Porto Alegre, adotada como exemplo.

4.1 ESTUDO PRELIMINAR

O estudo preliminar consistiu de uma avaliação escrita (Apêndice D – Atividade Apresentada no Estudo Preliminar) e de uma entrevista individual posterior, sendo realizado no início do ano letivo de 2012 com 23 estudantes do terceiro ano de um Curso Técnico de

Eletrônica, tendo por objetivo verificar a aprendizagem de conceitos fundamentais da Teoria de Circuitos Elétricos Lineares, estudada em anos anteriores do respectivo Curso.

Ao finalizar este estudo, embora se tenha conseguido chegar a uma classificação das respostas dos sujeitos, verificou-se que essa avaliação ficou restrita somente ao nível de complexidade das respostas em relação aos conceitos científicos, não sendo analisados os processos mentais desenvolvidos na elaboração dessas respostas.

Constatou-se que não houve uma investigação sobre a forma como cada sujeito percorreu o caminho para a solução do problema, passo a passo, do ponto de vista dos seus processos de aprendizagem associados aos circuitos elétricos, estruturas de pensamento e concepções alternativas, e dos conflitos cognitivos que surgiram nesse percurso. Faltou fazer intervenções, arguições e questionamentos durante a execução da atividade, bem como identificar as respostas espontâneas, as esperadas e as desencadeadas que pudessem auxiliar a inferir sobre esses processos mentais. Nessa perspectiva, ainda verificou-se a necessidade de pesquisar que estruturas são necessárias em cada etapa do processo e como os conflitos e as tomadas de consciência podem influir no seu desenvolvimento.

Assim, concluiu-se que, para melhor observar as evidências ou para poder fazer inferências que viessem a contribuir para conhecer os processos mentais envolvidos nesse problema, ter-se-ia que fazer modificações relativas aos seguintes pontos: a quantidade de sujeitos, a utilização de um experimento prático, a direção e organização prévia das entrevistas e a sistematização dos cuidados éticos.

Para poder acompanhar individualmente o processo de raciocínio de cada sujeito durante a resolução do problema, passo a passo, fazendo arguições e questionamentos, pensou-se em formar um grupo de dez sujeitos que desejassem participar desta pesquisa fora do horário de aula. Com respeito aos cuidados éticos, considerou-se que, como a investigação não fará parte das atividades de nenhuma disciplina, seria necessário firmar com a Escola um Termo de Autorização para Realização da Pesquisa (Apêndice E) e ainda, estabelecer com os sujeitos, ou seus responsáveis, um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice F), para assinarem sua anuência. Nesses documentos seriam informados os objetivos e procedimentos da pesquisa, e seria assegurada a preservação da identidade dos participantes em sigilo e o direito de se retirarem da pesquisa quando desejarem, sem qualquer prejuízo.

Constatou-se ainda a necessidade de um experimento prático com material manipulativo, justamente para que, durante o processo de resolução do problema, seja possível acompanhar e intervir, fazendo arguições e questionamentos sobre a forma e as razões pelas quais o sujeito está seguindo determinado caminho para a solução do problema.

Com relação à direção e organização prévia das entrevistas, julgou-se ser necessário um roteiro básico para a entrevista realizada durante o experimento prático. Pensou-se que esses roteiros deveriam conter questões norteadoras abordando determinados aspectos teóricos que pudessem servir de subsídio para conhecer o raciocínio do sujeito, tais como: conhecimentos prévios, coordenações inferenciais, tomadas de consciência. Essas questões poderiam servir para identificar as respostas espontâneas, que demonstrem o patamar de entendimento atual do sujeito sobre o assunto, e as desencadeadas, com as quais pode ser possível identificar as tomadas de consciência que ocorreriam durante a realização do experimento.

Ainda com relação a esse ponto, outra questão relevante refere-se à forma como as entrevistas devem ser conduzidas. Constatou-se que se deve procurar sempre seguir, prioritariamente, o raciocínio do sujeito e o modo como ele constrói o seu conhecimento na direção da solução do problema, e não somente o seu entendimento com relação aos conceitos físicos propriamente ditos, como se fez no Estudo Preliminar.

Assim, visando responder ao problema de pesquisa, tais propostas foram inseridas na metodologia de investigação. Do mesmo modo, após a defesa do projeto de Tese, em 26 de fevereiro de 2013, foram introduzidas as sugestões apresentadas pelos professores da Banca referente ao uso do método clínico e à execução de ensaios.

Nos próximos tópicos, descreve-se, então, os procedimentos seguidos na elaboração dessa investigação, de acordo com a orientação metodológica adotada e os referenciais teóricos utilizados para se identificar os processos cognitivos na aprendizagem de circuitos elétricos lineares.

4.2 METODOLOGIA E DELINEAMENTO DA PESQUISA

Essa Tese se propõe a investigar os processos cognitivos dos sujeitos na aprendizagem de circuitos elétricos lineares e foi desenvolvida através de uma investigação do tipo qualitativa utilizando a estratégia de pesquisa denominada estudos de casos múltiplos, sendo que as entrevistas foram inspiradas no método clínico, adequando-o ao foco da pesquisa.

A estratégia utilizada para a elaboração dessa pesquisa foi o estudo de casos, pois é a estratégia considerada adequada nas situações em que se deseja pesquisar de que forma (como) acontece determinado fenômeno. Esta escolha foi feita com base em Yin (2001, p.

24), onde o autor compara as diversas maneiras como a questão de pesquisa é apresentada nas estratégias de experimento, levantamento, análise de arquivos, pesquisa histórica e estudo de caso, e afirma que seria “provável que questões “como” e “por que” estimulassem o uso de estudos de caso, experimentos ou pesquisas históricas” (YIN, 2001, p. 26).

No caso dessa investigação, a utilização do estudo de caso, em conformidade com (YIN, 2001, p. 26), é “a estratégia escolhida ao se examinarem acontecimentos contemporâneos, mas quando não se podem manipular comportamentos relevantes”. Da mesma forma, essa pesquisa adotou o estudo de caso como estratégia, pois, segundo Yin (2001, p. 32), ele pode ser utilizado quando “um experimento deliberadamente separa um fenômeno do seu contexto, de forma que se pode dedicar alguma atenção apenas a algumas variáveis (em geral, o contexto é “controlado” pelo ambiente de laboratório)”.

Considera-se, conforme Yin (2001, p. 33), que o estudo de caso é vantajoso em relação à outras estratégias, pois “compreende um método que abrange tudo – com a lógica de planejamento incorporando abordagens específicas à coleta de dados e à análise de dados”. Do mesmo modo, em concordância com a proposta metodológica dessa pesquisa, segundo Yin (2001, p. 33), o estudo de caso “beneficia-se do desenvolvimento prévio de proposições teóricas para conduzir a coleta e a análise de dados”.

Assim, esse trabalho seguiu uma orientação metodológica baseada na estratégia de “estudo de casos múltiplos”, pois, conforme Yin (2001, p. 54), nesse tipo de pesquisa “os resultados empíricos podem ser considerados ainda mais fortes se dois ou mais casos sustentam a mesma teoria”.

Na estratégia de casos múltiplos Yin (2001, p. 68) recomenda que se deva seguir a lógica da “replicação, em oposição à lógica da amostragem”. De acordo com Yin (2001, p. 79), na lógica da amostragem “presume-se que um número de respondentes (ou objetos) “represente” um grupo maior de respondentes (ou objetos), de forma que também se presume que os dados de um número menor de pessoas representem os dados que podem ser coletados do grupo inteiro”.

Por outro lado, segundo Yin (2001, p. 68), na lógica da replicação a quantidade de casos e a representatividade não são tão importantes como a obtenção de evidências que comprovem que os casos estão relacionados com um mesmo fenômeno, assim, ao se obter resultados semelhantes “diz-se que ocorreu replicação”.

Com relação ao método clínico, Delval (2002, p. 70) relata que foi elaborado por Piaget para estudar cada um dos sujeitos “como um sujeito único, um sujeito que é uma unidade, que tem uma coerência interna”, que constrói “representações da realidade à sua

volta e revelam isso ao longo da entrevista ou de suas ações”. Entretanto, segundo Delval, Piaget “não se centra no peculiar desse sujeito, e sim no universal”, e assim o considera como “um sujeito epistêmico, um sujeito que produz conhecimentos”, e, por isso, então, o método clínico é útil para investigar as “características gerais da forma de explicar ou de resolver um problema” pelo sujeito, bem como para “achar os caminhos pelos quais o sujeito chega às suas explicações”.

De acordo com Delval (2002, p. 71), “o sujeito tem uma concepção do mundo, geralmente implícita, da qual ele próprio não tem consciência, mas é dela que se vale para dar sua explicação” e assim, neste sentido, o método clínico pode auxiliar a “tornar consciente essa explicação, saber como é organizada”.

Para tanto, acredita-se que uma das dificuldades na utilização do método clínico se deve exatamente à situação que Delval (2002, p. 72) se refere ao afirmar que “o pesquisador tem que abrir mão de sua forma de pensar para introduzir-se na forma de pensar do sujeito e, por isso, não pode atribuir aos termos que ele utiliza o mesmo sentido que tem para si próprio”, ao contrário, para que possa conhecer essa forma de pensar do sujeito, é importante que o pesquisador busque “esclarecer qual é o sentido desses termos dentro da estrutura mental do sujeito”.

Neste sentido, segundo Delval (2002, p. 72), para utilizar o método clínico para saber como o sujeito explica as causas de um determinado fenômeno pode-se produzir o fenômeno diante do sujeito e lhe pedir que o explique. Assim, continua Delval, “à medida que o sujeito vai dando explicações, que podem ser mais ou menos incompletas, o experimentador procura esclarecer o máximo possível as razões do sujeito e, inclusive, provoca outras situações que possam esclarecer, completar ou contradizer as explicações”.

Portanto, outra dificuldade que parece se apresentar na utilização do método clínico, se refere ao fato que Delval (2002, p. 72) relata que o pesquisador “a cada momento da entrevista, tem de formular várias hipóteses acerca do porquê da explicação dada e modificar suas perguntas ou a situação experimental em função da conduta ou das respostas do sujeito”.

Ainda, um outro fator que parece dificultar a utilização do método clínico é que a sucessão de passos durante o processo de investigação por meio da entrevista não é linear, ou seja, conforme Delval (2002, p. 80), “às vezes um momento da pesquisa nos obriga a voltar atrás e reconsiderar algumas decisões tomadas anteriormente: há idas e vindas, e decisões posteriores podem levar-nos a reformular o ponto de partida”.

De outro modo, acredita-se que a grande vantagem do método clínico, se comparado com outros métodos, refere-se àquilo que Delval (2002, p. 79) define como a “sua

extraordinária flexibilidade, o que permite que se ajuste às condutas do sujeito e, assim, possa encontrar o sentido daquilo que ele vai fazendo e dizendo. O pesquisador pode intervir a qualquer momento da experiência para tornar mais claro o que está ocorrendo”.

Como resultado desses questionamentos e intervenções os sujeitos podem apresentar uma forma de argumentos que não coincide com as ideias da ciência, então segundo Delval (2002, p. 80), essas representações “são as chamadas concepções espontâneas, teorias implícitas, teorias ingênuas, concepções alternativas, etc.”, visto que “essas representações que cada um deve formar para operar no mundo são anteriores ao conhecimento científico e existiam antes do surgimento da ciência”.

Conforme Delval (2002, p. 81), a importância de se identificar esses argumentos se deve, em primeiro lugar, ao fato de que “o estudo direto das representações tem um grande interesse em si mesmo por suas inegáveis repercussões práticas. As pessoas agem a partir dessas representações”. Em segundo lugar, tem se constatado que “é bastante surpreendente a semelhança que apresentam as explicações em diferentes campos e, por isso, é possível identificar aspectos gerais nas representações dos sujeitos sobre diferentes conteúdos”, aspectos esses que se referem ao modo de “abordar os problemas, de selecionar a informação relevante e de explicar os processos que ocorrem na realidade”.

Delval (2002, p. 82) também propõe que a investigação deva “começar com hipóteses acerca do problema, que deverão ter necessariamente um caráter muito geral e, a partir destas, colocar perguntas” ao sujeito de forma a se estabelecer um diálogo para então ir “acompanhando o curso de seu pensamento”. Para tanto, o autor sugere “formular um questionário inicial com perguntas básicas e realizar uma primeira entrevista para descobrir os principais tipos de respostas e alguns problemas que os próprios sujeitos colocam”, aos moldes de “um estudo-piloto” com um número reduzido de sujeitos (DELVAL, 2002, p. 99), para depois, então, empreender o estudo com os sujeitos selecionados, para o qual Delval (2002, p. 101) recomenda um número de dez sujeitos.

O próximo passo, segundo Delval (2002, p. 90) se refere ao “planejamento de uma situação e a proposta de uma tarefa que o sujeito terá de resolver e das perguntas que lhe faremos”, ou seja, o delineamento do experimento e da entrevista. Assim, a tarefa do estudo-piloto foi elaborada na etapa do Projeto da Tese, conforme apresentado no Apêndice G - Experimentos Iniciais (Projeto da Tese) e no Apêndice H – Roteiro Inicial de Perguntas.

De acordo com Delval (2002, p. 147) o método clínico comporta, basicamente, três tipos de entrevista: a entrevista aberta, a entrevista semi-estruturada e a entrevista estruturada.

A investigação feita nessa Tese se baseia na proposta de entrevista semi-estruturada, sendo que o processo de elaboração do instrumento de coleta de dados passou por onze versões até chegar a um ponto em que se pode considerá-lo adequado aos objetivos da pesquisa. Para tanto, no “estudo-piloto” o instrumento foi testado com dois a três sujeitos em cada versão (incluindo a décima primeira), totalizando algo em torno de 20 a 30 sujeitos entrevistados durante a etapa de definição do instrumento. Cada uma dessas etapas foi elaborada levando-se em consideração elementos que segundo Delval (2002, p. 90) servem de apoio “para estimular essas respostas” dos sujeitos, os quais se apresentam a seguir.

Um desses elementos, segundo Delval (2002, p. 91), são as histórias que podem ser contadas “ao sujeito para colocá-lo na situação e pedir que opine e faça comentários sobre ela”. Neste sentido, nessa investigação, a primeira etapa da versão final da entrevista consistia em apresentar ao sujeito a situação da ligação de um chuveiro quando a lâmpada do banheiro estivesse ligada e questionando-o se ele saberia o que aconteceria. Caso o sujeito demonstrasse já ter constatado o fenômeno da redução do brilho da lâmpada, então ele deveria ser questionado sobre as razões desse fenômeno ocorrer, como ele explicaria isso. Caso contrário, se o sujeito demonstrasse ainda não ter observado esse fenômeno, então, eram apresentados outros fenômenos semelhantes, tal como o da geladeira, o da máquina de lavar roupas, o dos faróis do carro, etc..

Um outro elemento refere-se ao experimento, descrito por Delval (2002, p. 90) como as “situações nas quais o sujeito tinha de realizar uma tarefa, que era acompanhada de comentários suscitados pelas perguntas do experimentador”. Nessa Tese o experimento da versão final da entrevista consistia em um circuito elétrico que o sujeito deveria montar com os componentes fornecidos para simular o fenômeno da redução do brilho de uma lâmpada quando um chuveiro é ligado. Esse experimento é central para a investigação, visto que serve de objeto de estudo e de referência para o questionamento elaborado no roteiro da entrevista.

A versão final dessa entrevista exigia, então, que o experimento fosse constituído pelos seguintes componentes: i) um conjunto de quatro pilhas pequenas de 1,5V cada uma, ligadas em série (totalizando 6V); ii) uma lâmpada de 6V por 250mA; iii) um resistor de 12Ω por 5W, para simular o chuveiro; iii) um multímetro para medir as tensões; iv) um conjunto de pilhas grandes de 1,5V cada uma, ligadas em série (totalizando 6V); v) três caixas lacradas contendo, cada uma, um componente elétrico diferente em seu interior, cujos terminais estão interligados a dois fios externos; vi) uma fonte de tensão regulada com capacidade para até 1A, ajustada para uma tensão de saída de 6V.

Um dos elementos mais importantes do método clínico são as perguntas que se pretende fazer aos sujeitos para estimular essas respostas. Conforme Delval (2002, p. 98) “embora o método clínico seja um procedimento de entrevista aberta, é útil dispor de um núcleo básico de perguntas que se refiram aos aspectos fundamentais de nossa pesquisa, e que, portanto, devem ser feitas a todos os sujeitos”, visto que apesar de o método clínico ser utilizado para se “seguir o curso do pensamento do sujeito” que é diferente de sujeito para sujeito, há que se destacar que, sem esse núcleo de perguntas comuns “a comparação entre os sujeitos seria impossível”.

Delval (2002, p. 98) lembra que “as perguntas que fazemos tem de ser sempre orientadas por nossas hipóteses e objetivos”, assim, nessa investigação as questões principais que nortearam as intervenções, como constam no Apêndice I – Questões Norteadoras das Intervenções (nona versão), foram as seguintes: i) tu já observaste se acontece alguma coisa quando uma pessoa liga o chuveiro elétrico quando a lâmpada do banheiro está ligada? O que?; ii) é possível simular o fenômeno da redução do brilho da lâmpada com esses componentes que temos aqui? Como tu farias para simular esse fenômeno?; iii) como tu explicas a redução do brilho da lâmpada?; iv) tu poderias fazer um desenho do circuito? Como tu explicas a redução do brilho da lâmpada através do desenho; v) se o cálculo mostrou que a corrente na lâmpada não diminui, então como tu explicas a redução do brilho da lâmpada?; vi) por que tu achas que ocorreu essa queda de tensão?; vii) um colega teu me disse que a fonte funciona como um capacitor. O que tu pensas sobre isso?; viii) outro colega teu me falou que a fonte possui uma resistência interna. O que tu pensas sobre isso? ix) já um outro colega me afirmou que a tensão cai devido à temperatura. O que tu pensas sobre isso? x) outro colega me garantiu que a tensão cai porque a fonte tem um limite de corrente. O que tu pensas sobre isso? xi) como tu poderias provar essa tua argumentação?; xii) se fosse utilizada essa fonte de tensão regulada no lugar das pilhas, esse fenômeno da redução do brilho da lâmpada também ocorreria? Por que? É possível simular a redução do brilho da lâmpada com essa fonte regulada? Como?; xiii) se fossem utilizadas essas pilhas maiores no lugar das pilhas pequenas, esse fenômeno da redução do brilho da lâmpada também ocorreria? Por que?; xiv) tu achas que é possível calcular o valor dessa resistência interna da pilha? Como tu farias para calcular essa resistência?

Entretanto, Delval (2002, p. 98) adverte que “o caminho da indagação não é necessariamente linear; lembra mais uma espiral que nos possibilita ir nos aproximando cada vez mais do núcleo em que nos interessa chegar”.

Por fim, um outro elemento apresentado por Delval (2002, p. 95) são os desenhos elaborados pelos sujeitos, que “tem um valor projetivo”, visto que os sujeitos “conseguem expressar no desenho muitos elementos aos quais não se referem verbalmente”. Assim, utilizou-se, nessa investigação, o procedimento de se solicitar aos sujeitos que elaborassem desenhos dos circuitos, tanto para se obter informações sobre suas formas de pensar, como para apresentar-lhes possíveis observáveis que pudessem auxiliá-los a constatar contradições entre suas argumentações e os resultados obtidos na execução do experimento.

No que diz respeito à análise dos dados, Delval (2002, p. 162) reconhece que “a abertura do método clínico e a variedade de respostas que podemos obter complicam a análise” e que “não existem procedimentos gerais para realizá-la, e cada nova pesquisa significa uma forma diferente de análise que teremos de inventar”. Assim, Delval (2002, p. 163) sugere que se deva “decidir o que consideramos semelhante e o que consideramos diferente” com base nos objetivos e hipóteses estabelecidos inicialmente, o que significa estabelecer categorias de análise.

Delval (2002, p. 168) comenta que dependendo do tipo de dados que estamos analisando, a organização dos dados poderá incluir “desde os tipos de resposta e as categorias mais calcadas nelas até categorias de tipo mais geral referentes a conceitos e a processos”.

Nesse último caso, o autor ressalta que pode-se encontrar uma fonte de inspiração para analisar as explicações dos sujeitos, colocando-as em contraste com “os conceitos utilizados pela disciplina científica que se ocupa de nosso campo de estudo”, e completa afirmando que “se estamos fazendo um estudo evolutivo, nossa referência última para medir os progressos dos sujeitos serão as concepções geralmente aceitas sobre os problemas que estudamos, o que se chama de concepções disciplinares”.

Como nesta Tese tem-se por objetivo estudar o desenvolvimento dos processos de compreensão dos sujeitos sobre um fenômeno específico de eletricidade, adotou-se, para a análise dos dados, essa perspectiva de se considerar os progressos dos sujeitos em relação a esses conceitos, ou seja, em relação às concepções disciplinares, e assim, foram estabelecidas as categorias de análise.

Assim, a utilização das categorias enquanto um instrumento para se analisar as respostas dos sujeitos, pode resultar no estabelecimento de níveis. Segundo Delval (2002, p. 232), “os níveis implicam uma hierarquia e uma sequência”, sendo que o que “diferencia os níveis uns dos outros não é tanto o recurso a princípios explicativos melhores, de outro tipo ou de um nível distinto, mas a possibilidade de combinar as explicações entre si e de estabelecer uma hierarquia entre elas”.

No próximo Tópico apresenta-se uma caracterização dos sujeitos que participaram dessa pesquisa, bem como os cuidados éticos que foram considerados e adotados com relação a esses sujeitos.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS E CUIDADOS ÉTICOS

No desenvolvimento desse trabalho, foi utilizado o termo “sujeito” para se referir ao sujeito psicológico com trajetórias particulares cuja evolução e identificação das situações comuns remetem ao sujeito epistêmico.

No decorrer deste trabalho foram entrevistados dez sujeitos, estudantes do terceiro ano de um Curso Técnico de Eletrônica integrado com o Ensino Médio, com idades entre 16 e 19 anos, de duas turmas em que o pesquisador não lecionava, em uma escola da Região Metropolitana de Porto Alegre – RS. Foi uma escolha por conveniência com base nas relações profissionais do pesquisador e na facilidade de acesso e administração do tempo disponível.

O tempo de duração das entrevistas variou conforme a necessidade de arguição, ficando entre o mínimo de 48 minutos e um máximo de 1 hora e 42 minutos e a quantidade de intervenções significativas variou de 16 até 54.

Em novembro de 2012, foi feito um contato inicial com a instituição onde foi desenvolvida a pesquisa, sendo então recebida uma autorização verbal para os estudos. No início do ano letivo de 2013, foi firmado com a Direção da Escola um Termo de Autorização para Realização da Pesquisa (Apêndice E).

Todos os estudantes desse respectivo período escolar foram convidados a participar através de uma apresentação que o pesquisador fez de seu projeto em sala de aula em agosto de 2013 e em fevereiro de 2014. Nesses eventos todos os estudantes foram informados que a sua participação deveria ser espontânea, havendo a devida liberdade para se afastarem da pesquisa no momento em que desejassem ou necessitassem sem qualquer ônus. Foram incluídos nesta pesquisa somente os sujeitos não alunos do pesquisador que, aceitando dela participar, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice F). Neste documento deram ciência de que iriam participar voluntariamente de um projeto de pesquisa que visa investigar os processos cognitivos associados à aprendizagem de circuitos elétricos, sendo a eles assegurado o direito de terem a sua identidade preservada em sigilo.

O pesquisador organizou um código para diferenciação dos protocolos de registro de

dados de cada sujeito, que é de seu acesso particular. Os resultados da pesquisa poderão vir a ser divulgados em eventos e artigos científicos, o que também foi esclarecido nos termos de autorização da escola e de consentimento dos sujeitos.

As entrevistas iniciaram-se em setembro de 2013 com os testes das diversas versões dos instrumentos de coleta de dados, mas a coleta de dados da versão final começou em maio de 2014, quando os sujeitos, então, operaram um experimento que visava simular o problema da redução do brilho da lâmpada quando da ligação do chuveiro, sendo observados e arguidos pelo pesquisador em intervenções baseadas no método clínico piagetiano, feitas durante a execução da atividade.

No projeto de Tese havia se elaborado um Roteiro Inicial de Perguntas (Apêndice H) que foi utilizado nos primeiros testes em setembro de 2013, mas as diversas alterações no instrumento de coleta de dados exigiram ajustes neste roteiro, resultando então em Questões Norteadoras das Intervenções (nova versão, no Apêndice I). Nesse processo também foi elaborado e preparado um banco de dados para armazenar as informações e os protocolos, a fim de assegurar a confiabilidade.

Todas as atividades de coleta de dados foram realizadas nas dependências da escola, em horário que o aluno não tinha aula e em um local reservado, tendo duração média de uma hora. As entrevistas e intervenções foram realizadas individualmente, sendo gravadas no momento de sua execução para depois serem transcritas.

4.4 PROCEDIMENTOS E INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

4.4.1 Convenções de Termos Técnicos de Eletricidade

A pesquisa foi realizada com estudantes do terceiro ano de um curso técnico em eletrônica integrado ao ensino médio, sendo então questionada a compreensão sobre a resistência interna da pilha, fenômeno esse implícito nas relações entre as correntes e tensões na pilha. Em virtude desse foco escolhido, a terminologia e a abordagem dos conceitos científicos são consideradas sob a perspectiva da educação tecnológica e da forma como esses conceitos são utilizados nas atividades dos profissionais de Eletricidade e Eletrônica, tanto no nível médio como no nível superior.

Sendo assim, considerou-se importante, inserir esse tópico no qual são apresentados os termos que serão utilizados no decorrer desse estudo com uma breve explicação sobre o sentido com que esses termos serão empregados.

Um termo frequentemente utilizado neste trabalho faz referência à fonte de tensão real como “pilha” ou “fonte” ou “bateria”. Nesse caso, todos esses termos são utilizados com o mesmo sentido e referindo-se ao conjunto de quatro pilhas de 1,5V em série que resultam em uma tensão total de 6V. Também é utilizado o termo “fonte de tensão regulada”, nesse caso para indicar um equipamento de laboratório desenvolvido exclusivamente para manter a tensão constante e independente da corrente que lhe é exigida, simulando assim uma fonte de tensão ideal.

Convencionou-se utilizar o termo “queda de tensão na pilha” ou simplesmente “queda de tensão” para a diferença entre a tensão que a pilha apresenta em seus terminais quando nenhum componente está ligado a ela e aquela tensão que ela apresenta quando algum componente é então conectado aos seus terminais. Essa queda de tensão na pilha ocorre devido à ação de uma propriedade inerente aos materiais e reações químicas da pilha à qual, neste estudo denomina-se como “resistência interna da pilha”.

Considera-se ainda que essa queda de tensão que ocorre internamente na pilha seja diretamente proporcional à corrente que é demandada da pilha pelos dispositivos elétricos externos, e que essa queda de tensão associada a essa corrente produzem uma transformação de parte da energia eletro-química produzida na pilha em energia térmica, transferida para o meio ambiente na forma de calor.

Convencionou-se utilizar o termo “resistência elétrica” ou simplesmente “resistência”, de forma geral, à propriedade que certos materiais e, por conseguinte, certos componentes apresentam de limitar a corrente e produzir uma tensão nos seus terminais, proporcional a essa corrente, à qual denomina-se, neste trabalho de queda de tensão. Essa queda de tensão associada à corrente no componente produz uma transformação de parte da energia elétrica produzida pela fonte de tensão em energia térmica, transferida para o meio ambiente na forma de calor.

Mais especificamente, o termo “resistência interna da pilha” ou simplesmente “resistência interna” é considerado neste estudo, como o modelo que explica uma determinada propriedade que a pilha apresenta, e que provoca uma limitação na sua corrente e uma redução na tensão presente nos seus terminais, à qual denominamos de queda de tensão. Essa resistência interna é representada, no modelo utilizado neste trabalho, por um componente elétrico denominado resistor (R_i ou R_{int}). Convencionou-se também que, para fins desse

estudo, considerar-se-ia a resistência interna da pilha como constante, independentemente de quaisquer outros fatores.

Assim, para efeitos desse estudo desconsiderou-se que a resistência interna da pilha não é estática, nem linear e que depende de diversos fatores como a energia química da pilha, o valor da corrente exigida da pilha, o valor nominal de tensão fornecido pela pilha, a temperatura do ambiente e da própria pilha, e outros.

Já o termo “resistência da lâmpada” é utilizado no que tange à propriedade que a lâmpada possui de limitar a corrente e apresentar uma tensão em seus terminais proporcional a essa corrente. Convencionou-se também que, para fins desse estudo, considerar-se-ia a resistência da lâmpada como constante, independentemente de quaisquer outros fatores.

Assim, para efeitos desse estudo desconsiderou-se que a resistência da lâmpada não é constante, nem linear e que depende de diversos fatores como o tipo de material do filamento, a corrente, a tensão, a temperatura, dentre outros.

Convencionou-se também utilizar o termo “resistor do chuveiro” ou simplesmente “resistor” ou “chuveiro” ao componente elétrico que representa (ou simula), na forma de um modelo, o funcionamento elétrico do dispositivo “chuveiro elétrico”.

De outro modo, o termo “dispositivo elétrico”, de cunho mais geral, diz respeito aos equipamentos ou componentes elétricos que podem ser ligados aos terminais de uma fonte de tensão. Destaca-se que neste trabalho não se atribui ao dispositivo ou componente elétrico o termo técnico “carga”, muito utilizado em diversos livros na área técnica, para não confundir com o conceito físico “carga elétrica”, que possui significado muito diferente.

Definiu-se que os circuitos elétricos a serem montados pelos sujeitos neste trabalho seriam somente os circuitos elétricos lineares de corrente contínua em série, paralelo e misto, com no máximo uma fonte de tensão, três resistores e uma lâmpada, organizados segundo as seguintes configurações: i) somente um resistor de 24Ω ou uma lâmpada de 6V e 250mA, ligado em uma fonte de tensão real de 6V; ii) um resistor de 24Ω , ou uma lâmpada de 6V e 250mA, ligado em paralelo com um resistor de 12Ω , que simula o resistor do chuveiro, e esse conjunto ligado em uma fonte de tensão real de 6V; iii) um resistor de 24Ω , ou uma lâmpada de 6V e 250mA, ligado em paralelo com um resistor de 12Ω , que simula o resistor do chuveiro, e esse conjunto ligado em série com um resistor de valor calculado pelo sujeito (o qual simula a resistência interna da pilha) e com a fonte de tensão regulada de 6V, que simula uma fonte de tensão ideal.

No que se refere à execução dos experimentos empíricos estipulou-se que deveriam ser desconsideradas a existência de outras variáveis ou fenômenos físicos intervenientes, que

pudessem influir na leitura dos observáveis elétricos. Alguns desses fatores intervenientes seriam, a saber: i) a resistência interna do multíteste nas leituras das tensões; ii) as tolerâncias dos componentes; iii) a variação da resistência dos resistores e da resistência da lâmpada com a temperatura; iv) a variação da resistência interna, da corrente e da tensão da pilha com a temperatura ambiente; v) a variação da resistência interna, da corrente e da tensão da pilha devido à alteração da temperatura em função da transformação de energia elétrica em energia térmica; vi) a diferença entre os valores reais das correntes, calculados em função da atuação da resistência interna da pilha, e os valores calculados diretamente através da divisão da tensão da fonte pelo valor da resistência dos componentes; vii) as variações de leitura do multíteste em função da energia de suas pilhas; viii) a resistência dos cabos e fiações.

Ainda para a execução dos experimentos empíricos optou-se por não disponibilizar o uso de um amperímetro para medir as correntes pelos seguintes motivos: i) evitar introduzir outra variável no experimento, qual seja a resistência interna do multíteste; ii) não se tinha por objetivo calcular o valor real exato das correntes e tensões, mas sim, verificar a influência da resistência interna da pilha nessas observáveis e como o sujeito construía o seu raciocínio para explicar esse fenômeno; iii) como os sujeitos dos ensaios haviam desenvolvido uma hipótese distorcida da divisão de corrente, na qual o brilho da lâmpada reduz porque a corrente que circulava anteriormente somente na lâmpada, agora com a ligação do chuveiro, iria diminuir porque teria que se dividir entre a lâmpada e o chuveiro, então, supôs-se que, com o uso do amperímetro os sujeitos poderiam constatar que as correntes haviam diminuído (na verdade devido à resistência interna da pilha), e isso, muito provavelmente, poderia reforçar aquela hipótese inicial e distorcida dos sujeitos, e esse reforço poderia produzir um impasse difícil de ser superado; iv) o amperímetro não é um equipamento comumente utilizado durante os experimentos de laboratório no Curso e isto poderia ser um fator que poderia dificultar o desempenho dos sujeitos nos experimentos e influir nos resultados.

Portanto, decidiu-se que os sujeitos deveriam obter o valor das correntes mediante cálculos e não por medições. Procurou-se também favorecer a que os cálculos dessas correntes fossem feitos de modo tal como se a propriedade da resistência interna da pilha não existisse. Isso se considerou necessário para permitir que os sujeitos pudessem elaborar novas possibilidades, bem como para oferecer aos sujeitos uma oportunidade para descentrarem o seu ponto de vista, quando ele estivesse centrado na concepção da divisão da corrente. Segundo esse ponto de vista, os sujeitos consideravam que, pelo fato de o chuveiro ser adicionado ao circuito, em paralelo com a lâmpada, a corrente que antes circulava na lâmpada iria se dividir entre os dois componentes. Assim, desconsiderando-se a existência da

resistência interna, os sujeitos poderiam constatar numericamente que a corrente na lâmpada se mantém a mesma ao se adicionar o chuveiro em paralelo. Esperava-se que com essa oportunidade de descentração os sujeitos pudessem elaborar novas hipóteses e então poder-se-ia investigar os seus mecanismos de raciocínio.

4.4.2 Elaboração do Instrumento de Coleta de Dados

Imediatamente após a Defesa do Projeto de Tese e recebida a aprovação para o prosseguimento da pesquisa, iniciou-se os ajustes sugeridos pela Banca. Na medida em que se avançava no trabalho, a entrevista e o instrumento de coleta de dados iam sendo aprimorados, conforme o objetivo da pesquisa, sendo incluídas perguntas de base, questões elaboradas de acordo com o percurso de pensamento dos sujeitos, e questões que envolviam conceitos anteriormente estudados. Tinha-se com isso, a intenção de se identificar os percursos e os mecanismos envolvidos na construção do conhecimento sobre o tema.

A proposta que se apresentou no projeto da Tese era de que a partir da execução de um experimento o sujeito pudesse constatar que a tensão na bateria não ficava constante, mas que dependia também da corrente que dela fosse exigida, e então, seguir o raciocínio do sujeito durante o processo de construção dessa relação implícita entre as grandezas elétricas de tensão e corrente na pilha para verificar como o sujeito construía a compreensão do fenômeno da resistência interna da pilha.

Neste sentido, a primeira versão do experimento, a qual foi apresentada no projeto da Tese, consistia simplesmente da medição da tensão na bateria, primeiro com uma lâmpada de 6V e 40mA, e, depois, a medição da tensão na bateria com uma lâmpada de 6V e 250mA, para proporcionar ao sujeito a constatação da queda de tensão e o posterior questionamento.

Com as freqüentes leituras e releituras e discussões no grupo de orientação, constatou-se a necessidade de tornar o experimento mais interativo e prospectivo, no sentido de trazer mais informações sobre os processos que se desejava investigar, e assim foram desenvolvidas e testadas mais dez versões do instrumento de coleta de dados.

Em uma segunda versão introduziu-se o conceito de modelagem ou representação gráfica, pelo qual o sujeito tinha que fazer um desenho do circuito que havia montado, com a finalidade de trazer à tona o que o sujeito compreendia sobre o que estava ocorrendo nesse

sistema pilha-lâmpada. Essa ideia de representar as imagens mentais através de um desenho surgiu a partir do método clínico e do trabalho de Gouveia (2007).

Na terceira versão introduziu-se uma outra contra-argumentação na qual se substituíam as pilhas por fontes reguladas, as quais não apresentavam o efeito de variação da tensão em função da corrente solicitada, visto que essas fontes foram projetadas para manter a tensão constante, simulando então uma fonte ideal, de modo que interferissem o menos possível nos experimentos que se deseja realizar no laboratório.

O objetivo era proporcionar uma nova situação que contrastasse com a primeira, de modo a favorecer ao sujeito a constatação de novas possibilidades e assim, também, novos questionamentos poderiam ser feitos.

A quarta versão consistia de uma combinação de ligação em série e paralelo das duas lâmpadas, onde se tinha por finalidade facilitar ao sujeito a elaboração da possibilidade da existência de uma resistência em série com a pilha, a qual seria a resistência interna.

No entanto, ao fazer as entrevistas com os sujeitos constatou-se que além de não favorecer a elaboração de novas possibilidades, essa variação tornava o experimento mais longo e complexo e acabava-se fugindo um pouco do objetivo maior que seria o desenvolvimento das noções e compreensões de relações implícitas, visto que os sujeitos interpretavam que o objetivo seria simplesmente a resolução de circuitos série e paralelo.

Na quinta versão introduziu-se os conceitos de representação gráfica e matemática, isto é, os sujeitos além de fazer os desenhos dos circuitos tinham que utilizar a simbologia de resistor para a resistência das lâmpadas, bem como determinar os valores dessas resistências. O experimento foi elaborado com base em três etapas, com níveis de dificuldades crescentes: i) a etapa experimental, na qual o sujeito tinha que montar o experimento, fazer medições e elaborar hipóteses; ii) a etapa representacional, na qual o sujeito teria que desenhar o circuito e explicar o funcionamento; iii) a etapa conceitual, na qual o sujeito teria que utilizar os conceitos de eletricidade para inferir as relações e elaborar modelos generalizáveis.

Além disso, o questionamento dos sujeitos também foi elaborado e suas respostas analisadas de acordo com uma estratificação baseada nesses mesmos três níveis sucessivos e hierárquicos de construção mental e de compreensão relativos: à montagem do circuito, ao desenho, e à explicação.

Essa estratificação, embora ainda incipiente e, parece que, num primeiro momento, inconsciente de sua intenção, supõe já indicar um objetivo latente de pesquisa quanto à identificação da possível existência de uma psicogênese da compreensão desse conhecimento e do desejo de descortinar esse processo.

Na sexta versão foi então introduzido o conceito de caixa lacrada, como um recipiente hermeticamente fechado e contendo em seu interior um componente elétrico oculto, mas pertencente ao domínio do conhecimento desses sujeitos, ao qual se pode ter acesso somente por intermédio de dois fios conectados internamente à esse componente e que, se prolongam até o exterior da caixa para manipulação do sujeito.

Com esse experimento desejava-se saber se o sujeito conseguia estabelecer relações entre os observáveis de tensão e corrente medidos nos fios, e assim deduzir qual seria o componente que estava na caixa lacrada sem vê-lo. Pretendia-se, ainda, verificar se ele conseguia, por transposição ou analogia, deduzir o fenômeno modelado pela resistência interna da pilha, utilizando esse mesmo raciocínio hipotético-dedutivo, construído a partir dos seus esquemas conceituais, os quais, segundo Piaget (1990, p. 310), são “esquemas a um só tempo gerais e abstratos, isto é, de conceitos que assumem a forma de classes ou relações”. Desse modo, se pretendia investigar a construção desse conhecimento.

Na sétima versão da entrevista inseriu-se mais duas etapas, uma antes e uma depois da execução do experimento, nas quais os sujeitos eram arguidos sobre os conceitos de tensão, corrente, resistência e potência. O objetivo desse questionamento seria para verificar se houve evolução na compreensão desses conceitos durante a execução do experimento, dentro de uma ideia de pré-teste e pós-teste.

Entretanto, ao entrevistar os sujeitos constatou-se que essa etapa da arguição sobre os conceitos não estava contribuindo para a obtenção de informações, visto que a sua inserção: i) se mostrou desnecessária, uma vez que a análise da compreensão poderia ser feita de forma indireta, através de inferências sobre as respostas dos sujeitos em relação ao conjunto de características estratificadas em categorias, estabelecidas para cada um dos prováveis patamares do desenvolvimento dessa compreensão; ii) poderia facilitar o desvio do foco da análise, quase que exclusivamente para as etapas do pré-teste e pós-teste, e com isso essa análise poderia ficar restrita a somente duas etapas (uma onde não haveria compreensão consolidada e outra onde haveria), e então se correria o risco de perder informações preciosas sobre os degraus intermediários e necessários ao processo de construção desse conhecimento; iii) provocou uma demanda muito grande de tempo para a entrevista, tornando-a um pouco enfadonha e repetitiva, visto que alguns sujeitos demonstraram desinteresse nessa etapa; iv) não garante a obtenção de informações suficientes para assegurar que o sujeito tenha compreendido os conceitos, uma vez que o mesmo pode estar apenas repetindo ou aplicando-os sem tê-los deduzido, sem operá-los.

A elaboração da oitava versão iniciou-se a partir da análise dessas considerações anteriores e da leitura de uma questão apresentada no ENEM e publicada no jornal Zero Hora de 29 de maio de 2014 (ANEXO 1 – Questão do ENEM). Essa questão consistia em solicitar a relação entre a tensão e a resistência (expressa através do comprimento e da área de seção transversal do fio) de um resistor de chuveiro elétrico. Assim, optou-se por retirar a etapa da arguição sobre os conceitos de tensão, corrente e resistência, e acrescentou-se, no início da entrevista, uma outra etapa em que se apresentava ao sujeito uma situação do cotidiano na qual a ligação de um chuveiro elétrico produzia a redução do brilho da lâmpada do banheiro.

Com essa substituição tinha-se por objetivo evitar que esse experimento apresentasse uma situação muito próxima àquelas situações conhecidas do ensino tradicional, nas quais, por exemplo, num primeiro momento são apresentados os conceitos, no segundo momento é executada a parte experimental, através de atividades em laboratório ou de exercícios escritos, e, num terceiro momento, é aplicado um teste de avaliação.

Da mesma forma queria se evitar o questionamento direto aos conceitos, focando, ao contrário, nas explicações do sujeito sobre o funcionamento do experimento e sobre os fenômenos envolvidos. Acreditava-se que através dessas explicações poderia ser possível identificar não somente se o sujeito conhecia os conceitos, mas, principalmente, se ele elaborava hipóteses, fazia inferências, estabelecia relações e procedia a deduções, e de que forma ele recorria a esses conceitos, o que, de modo geral, poderia fornecer uma ideia sobre o seu nível de compreensão em relação aos mesmos.

Outra questão que se levou muito em conta nessa oitava versão foi a preocupação e o cuidado para não dirigir ou não conduzir diretamente o sujeito na direção do que se pretende, mas colocá-lo diante de situações do seu cotidiano, por ele conhecidas, e, nas quais ele tenha que recorrer às suas estruturas internas de raciocínio para explicar um determinado fenômeno e, assim, acompanhar-se a evolução do seu pensamento durante todo esse processo.

Assim, o primeiro questionamento feito ao sujeito era se ele já teria observado o que acontece com a lâmpada do banheiro quando ele tomava banho com ela acesa e como ele poderia explicar esse fenômeno da lâmpada diminuir o brilho quando o chuveiro era ligado.

Caso o sujeito não apresentasse uma explicação científica do fenômeno, então era solicitado que ele ligasse as lâmpadas na pilha, uma de cada vez, e observasse o que acontecia em cada caso, e depois, que medisse as tensões. Se isso ainda não bastasse para que o sujeito conseguisse desenvolver uma explicação mais próxima do modelo científico sobre a queda de tensão na pilha, então era utilizado o experimento da caixa lacrada, como uma tentativa de que o sujeito, por analogia, associasse o método de identificação dos componentes que

estariam dentro dessa caixa à uma possível solução do problema da queda de tensão, enquanto uma propriedade de resistência elétrica, que, de forma análoga, estaria atuando internamente na pilha. No entanto, se ainda assim não houvesse êxito, se utilizaria contra-argumentos de supostos colegas.

Esses contra-argumentos consistem, basicamente, de pseudo-argumentos apresentados aos sujeitos como se eles fossem elaborados por colegas seus, constituindo-se de ideias verdadeiras e de ideias falseadas. Estas últimas seriam aquelas que aparentam ter sentido, mas se forem analisadas com mais detalhes apresentam algumas inverdades, de modo semelhante aos sofismas ou às falácias. O objetivo da utilização dos contra-argumentos dos colegas era apresentar ao sujeito outros pontos de vista e verificar, através de suas declarações como ele elaborava seu raciocínio perante a essas novas situações. Também, eventualmente, poder-se-ia esperar que alguns desses argumentos estivessem em contradição com as crenças dos sujeitos, e, assim, pretendia-se verificar como eles demonstravam reagir intelectualmente frente a essas contradições.

De outro modo, quando ocorria de o sujeito apresentar uma explicação científica ou próxima dela, então era pedido que ele fizesse um desenho do circuito. Depois era solicitado que ele simulasse esse funcionamento com a fonte regulada, e finalmente, se ele chegasse à resposta da resistência interna, que ele calculasse o seu valor.

Observa-se que aqui, uma nova variação também foi introduzida no uso da fonte regulada, que antes era utilizada somente para substituir as pilhas e assim proporcionar que o sujeito constataste a não variação da tensão. Agora, passou-se a utilizar a fonte regulada mesmo quando o sujeito já sabia que a sua tensão não variava, apresentando-lhe então um novo problema em que ele deveria montar um experimento que simulasse o fenômeno da redução do brilho da lâmpada constatado em sua casa, mas utilizando a fonte regulada.

Durante todos esses questionamentos eram observadas as argumentações do sujeito para, a partir delas, inferir sobre o processo de construção da compreensão do fenômeno da resistência interna da pilha, implícito nas relações de tensão e corrente em seus terminais.

Uma outra questão que se introduziu nessa versão foi verificar as antecipações do sujeito em relação aos resultados do experimento, e assim, passou-se a arguir sempre antes de cada nova execução sobre o que ele achava que iria acontecer. Isso foi bastante importante, pois favoreceu identificar o pensamento do sujeito sobre o funcionamento do experimento antes de ele montar e possibilitando conhecer a sua forma de raciocínio original. Ao mesmo tempo, esse procedimento facilitou também que se identificasse as constatações, os conflitos e as tomadas de consciência presentes no processo de construção dessa compreensão.

Na nona versão foram acrescentadas três novidades. A primeira resultou de se haver constatado que a ligação de uma ou outra lâmpada na pilha, solicitada ao sujeito pelo experimentador no desenrolar do experimento, não possui relação direta com o sistema físico lâmpada-chuveiro existente na sua residência. Assim, uma primeira alteração que se fez no experimento foi excluir a etapa de medir as tensões da pilha com uma e outra lâmpada e também a etapa de colocar as lâmpadas em série e em paralelo. Optou-se então, por colocar-se entre os componentes disponibilizados ao sujeito, um resistor de 12Ω e $5W$, para que o sujeito pudesse simular a resistência do chuveiro, o qual deveria ser ligado em paralelo com a lâmpada de $6V$ e 250 mA ($24\ \Omega$) depois que ela estivesse acesa, de modo que se pudesse constatar a redução do seu brilho, como no sistema físico, representando assim esse sistema.

Outra questão importante que se constatou é que se estava solicitando ao sujeito que conectasse as lâmpadas na pilha em vez de se questioná-lo sobre essa possibilidade. Isso poderia tornar o experimento muito diretivo inibindo o surgimento de atitudes desencadeadas e atitudes espontâneas, as quais poderiam servir de objeto de análise das formas de pensar desses sujeitos. Neste sentido, a segunda alteração foi com relação à forma de arguição, primeiro questionando o sujeito sobre a possibilidade de se simular o fenômeno da redução do brilho da lâmpada, que ele havia constatado em sua residência, e, depois, solicitando que o mesmo montasse, então, um circuito que pudesse simular esse fenômeno.

Essas duas alterações proporcionaram, além de uma maior possibilidade de interação entre o sujeito e o objeto de estudo, a possibilidade de constatação visual da influência do chuveiro sobre o brilho da lâmpada, tal como na situação real.

A terceira alteração diz respeito à inclusão de um questionamento onde se perguntava ao sujeito o que aconteceria se as pilhas utilizadas nesse experimento fossem substituídas por pilhas maiores. O objetivo desse questionamento seria verificar a estabilidade da resposta do sujeito em relação à compreensão do fenômeno da resistência interna da pilha, quando ele chegasse a essa resposta. Assim, se o sujeito realmente houvesse desenvolvido uma compreensão consolidada do ponto de vista dos conceitos científicos envolvidos no fenômeno, esperava-se que suas respostas indicassem a existência da resistência interna também nessas pilhas grandes, e ainda que, estas pilhas, por terem maior capacidade de fornecimento de corrente apresentam uma resistência menor, de acordo com a Lei de Ohm.

A décima versão por sua vez incorporou modificações no que diz respeito a uma maior organização e sistematização dos questionamentos. Em primeiro lugar, incluiu-se no início da entrevista uma etapa informativa, onde eram repassadas todas as informações éticas e técnicas aos sujeitos, tais como: os objetivos da entrevista; a posição do entrevistador como um

inquiridor e como alguém que estava à procura da resposta do problema; a ausência da relação professor-aluno; o caráter não avaliativo das atividades; a dissociação do ambiente de pesquisa em relação ao ambiente de aprendizagem escolar; a garantia de confidencialidade e preservação do sigilo da identidade; a metodologia de investigação e o tipo de situação abordada; a prerrogativa do entrevistado de desistir ou de se ausentar da pesquisa a qualquer tempo, sem necessidade de justificativa nem riscos ou prejuízos de qualquer espécie. Por último, após concordância do sujeito, lhe era oferecido uma folha em branco, que lhe serviria para rascunho, cálculos, etc., onde lhe era solicitado que colocasse o número da gravação correspondente à sua entrevista, a sua idade, a data e hora da entrevista.

A segunda modificação, de ordem mais operacional, refere-se à cuidados que devem ser reforçados nos procedimentos, tais como: i) questionar mais as contradições, procurando identificar sua gênese; ii) quando acontecer uma situação para a qual o sujeito não tenha resposta pensou-se então em apresentar os argumentos dos colegas para evitar uma situação sem saída; iii) manter o cuidado para não apresentar respostas ou sugestões; iv) questionar sempre o motivo que levou o sujeito a dar tal ou qual resposta; v) tentar seguir sempre o pensamento do sujeito através de perguntas.

Finalmente, na décima primeira versão acrescentou-se mais duas novidades. Em primeiro lugar, inseriu-se uma questão onde o sujeito teria que explicar como ele resolveria um problema escrito que, supostamente, ele havia encontrado em um livro, e que pedia para calcular tensões e correntes em um circuito semelhante ao que modelava o funcionamento do chuveiro, inclusive com os mesmos valores, mas sem que se informasse diretamente ao sujeito que os circuitos eram semelhantes, pois esse fato ele mesmo poderia constatar visualmente.

Nessa etapa se informava ao sujeito que o problema consistia de um circuito paralelo entre um resistor de 12Ω com outro de 24Ω , conectados a uma fonte de tensão de $6V$ através de um resistor série de 2Ω e era solicitado que ele calculasse as tensões e correntes em todos os componentes e que explicasse como ele faria estes cálculos, passo a passo.

Com essa etapa pretendia-se num primeiro momento apresentar ao sujeito uma situação teórica análoga à situação experimental (onde o resistor série estaria representando a resistência interna da pilha) caso ele ainda não tivesse tomado consciência da possibilidade da existência dessa resistência interna.

A seguir, esperava-se que, o sujeito constataste a analogia entre a situação teórica e a situação experimental e então tomasse consciência da possibilidade da existência de uma resistência interna na pilha, e assim, seguindo todos os passos do raciocínio do sujeito e

questionando-o, almejava-se conhecer o seu processo de tomada de consciência e a possível construção da compreensão desse fenômeno.

Uma segunda modificação que se fez foi acrescentar, no final do experimento, um questionamento sobre o próprio desempenho do sujeito, nos moldes de uma autorreflexão, onde ele era arguido sobre o que ele achou do experimento, porque não encontrou a solução ou como fez para chegar à resposta, se ele havia estudado esse assunto em aula e como ele fazia para estudar em casa. Com essa questão tinha-se o objetivo de prospectar alguma informação adicional que talvez pudesse contribuir, em algum momento, para elucidar alguma dúvida sobre os processos de pensamento do sujeito.

Paralelamente ao desenvolvimento das onze versões do experimento o Roteiro Inicial de Perguntas (Apêndice H), que havia sido elaborado para os Experimentos do Projeto da Tese (Apêndice G), se ampliou e se modificou, resultando, até a nona versão, em 14 Questões Norteadoras das Intervenções (Apêndice I). Nesse processo constatou-se que, após receber algumas respostas de forma inesperada, o entrevistador demorava demasiado para contra-argumentar, e se tivesse que recorrer ao roteiro, demorava ainda mais, pois encontrava um texto muito extenso, o que deixava o sujeito um pouco desconfortável.

Para tentar se solucionar esse problema, num primeiro momento, optou-se por substituir as Questões Norteadoras das Intervenções por um Fluxograma Resumido da Entrevista (Apêndice J) no qual fossem mostradas todas as possibilidades de caminhos que o entrevistador poderia seguir durante a execução da entrevista. Obviamente, que com esse fluxograma não se tinha por intenção engessar as entrevistas, mas elaborar um material que servisse de base, de referência para o investigador se guiar durante a entrevista. Entretanto, em virtude das trajetórias e das explicações diversificadas de cada sujeito durante a entrevista, e, ainda, devido à dificuldade de se prever todas as combinações possíveis *a priori*, esses caminhos nem sempre puderam ser seguidos à risca ou na ordem apresentada. Assim, mesmo esse fluxograma sendo um excelente meio para apoiar o entrevistador sobre o melhor caminho a seguir, ao se testá-lo, ainda pela primeira vez, já verificou-se que, no momento em que o entrevistador necessitava tomar decisões mais rápidas ou reagir a respostas inesperadas, o fluxograma não se mostrou muito flexível nem muito eficiente.

Assim, optou-se por organizar essas situações pelos seus títulos em blocos de atividades agrupados por afinidade de função ou de objetivo, o que visualmente veio a prover uma melhor identificação de todo o experimento, facilitando a definição e a tomada rápida de decisão sobre qual questionamento seria mais profícuo para cada sujeito em determinado momento da entrevista. Esse instrumento foi então denominado de Blocos Parciais das

Situações Experimentais (Apêndice K). Por fim, o desenvolvimento do Instrumento de Coleta de Dados é apresentado, de forma resumida, na tabela Evolução das Entrevistas (Apêndice L).

Verificou-se então, que a elaboração do Roteiro Inicial de Perguntas (Apêndice H), das Questões Norteadoras das Intervenções (Apêndice I), do Fluxograma Resumido da Entrevista (Apêndice J), dos Blocos Parciais das Situações Experimentais (Apêndice K), bem como a construção das diversas etapas durante a Evolução das Entrevistas (Apêndice L) auxiliaram a desenvolver um processo mental de questionamento e organização do pensamento, necessário para a aplicação do método clínico, ao mesmo tempo em que são evidências de cada etapa desse desenvolvimento. Do mesmo modo, acredita-se que esses instrumentos, aqui apresentados, poderão servir como referência e reflexão para outros pesquisadores elaborarem e avaliarem os seus instrumentos de coleta de dados, experimentos e roteiros de arguição aos sujeitos.

Durante as diversas etapas da elaboração do Instrumento de Coleta de Dados procurou-se ter sempre em mente o objetivo, o problema e as subquestões da pesquisa. Assim, para validar esse instrumento, procurou-se verificar se, com o seu uso, poder-se-ia responder aos seguintes questionamentos principais: i) como o sujeito age e como pensa na tentativa de compreender o fenômeno? ii) o sujeito tem consciência do objetivo a alcançar com as suas ações e operações? iii) o sujeito tem consciência do seu fracasso ou do seu êxito? iv) ocorreu ação sem conceituação? Quando? v) quando se podem constatar as tomadas de consciência? vi) é possível identificar o tipo de relações que o sujeito estabelece, o modo de formação de hipóteses, a espécie dos observáveis constatados (objetos, ações e operações) e o tipo de atitude do sujeito durante a execução do experimento? vii) que tipo de conhecimento anterior aparece e o que parece faltar? viii) qual o percurso que o sujeito fez? ix) quais as novidades que o sujeito traz? x) é possível identificar o processo de construção da compreensão sobre o fenômeno da redução da tensão da pilha, no qual existem relações implícitas, explicadas pelo modelo teórico da resistência interna da pilha?

Assim, efetuou-se um teste dessa décima primeira versão com mais três sujeitos e ao se analisar as entrevistas chegou-se à conclusão de que o instrumento de coleta de dados estava de acordo com o objetivo dessa pesquisa, qual seja investigar a construção do conhecimento de estudantes da área tecnológica a partir de um tema específico de eletricidade que é a análise de circuitos elétricos lineares em corrente contínua, especialmente no que diz respeito ao fenômeno da redução da tensão da pilha, no qual existem relações implícitas, explicadas pelo modelo teórico da resistência interna da pilha.

Por fim, de forma resumida, pode-se dizer que esse instrumento constituiu-se, inicialmente, de uma etapa de familiarização, na qual o problema foi apresentado aos sujeitos de forma verbal, através de um evento do cotidiano: a redução do brilho da lâmpada no momento em que um chuveiro é ligado. Nessa etapa os sujeitos foram questionados sobre as razões do brilho da lâmpada se reduzir. As etapas seguintes, por sua vez, continham diversas outras atividades relacionadas com esse fenômeno, onde os sujeitos eram solicitados a fazer previsões e responder a perguntas, e assim apresentavam argumentações que eram testadas mediante questionamentos e contra-argumentações.

Constatou-se assim que esse processo de desenvolvimento do instrumento de coleta de dados foi muito interessante e instrutivo, pois ao fazer-se uma autorreflexão pode-se inferir sobre o desencadear de um movimento de interiorização e exteriorização na interação entre o pesquisador, como sujeito, e o próprio instrumento de coleta de dados, enquanto objeto.

Nesse processo, inicialmente, com base nos seus esquemas conceituais, o pesquisador elaborava um instrumento, depois o submetia a um teste empírico, entrevistando os sujeitos e constatando os observáveis, a seguir avaliava os resultados obtidos e o instrumento, com base, novamente, nos seus esquemas conceituais, e assim procedia às alterações necessárias.

Quando os esquemas conceituais não davam mais conta de elaborar novas hipóteses, estabelecer relações e proceder a inferências, mediante um delicado processo de descentração intelectual, e por assim dizer, emocional, submetia-se o instrumento primeiro a uma releitura dos referenciais teóricos, depois a novos observáveis originados de referenciais teóricos ainda não estudados, e, por fim, à apreciação e considerações do grupo de orientação e das professoras orientadoras. Assim, num movimento contínuo de assimilação e acomodação, de interiorização e exteriorização, chegou-se, após dez tentativas, segundo o ponto de vista do pesquisador desta Tese, naquele momento da pesquisa, a uma versão satisfatória do instrumento de coleta de dados (Apêndice M – Fotos da Versão Final do Experimento).

4.5 ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Após encerrada a coleta de dados dos dez sujeitos entrevistados, os arquivos de voz foram transcritos e, na medida do possível as falas dos sujeitos foram preservadas literalmente, com as mesmas palavras e expressões por eles utilizadas, para proporcionar ao leitor desse trabalho a sua interpretação e contextualização no real ambiente de pesquisa.

Eventualmente, naquelas situações onde ficou vago ou difícil compreender o que o sujeito tentou dizer somente através da sua resposta, pelo fato de o leitor dessa Tese não ter acesso ao contexto, optou-se por alterar, sem prejuízo do sentido da argumentação, algumas palavras ou expressões no sentido de torná-la inteligível e compreensível.

Num segundo momento, cada uma dessas transcrições foi analisada e então selecionou-se as principais passagens de cada entrevista, construindo-se um arquivo para cada sujeito a que se denominou de “Destaques” (vide um exemplo em Apêndice N – Destaques da Entrevista do Sujeito S29).

Para se manter a capacidade de rastreabilidade, a organização, a referência e evitar se perder em meio a tantos sujeitos e protocolos, adotou-se um código para cada uma dessas passagens, no qual os três primeiros dígitos correspondem à identificação do sujeito (S23, S24, etc.) segundo a ordem cronológica em que eles foram entrevistados, e, após o hífen, o último ou os dois últimos dígitos, caso existirem dois, indicam o número das passagens destacadas na entrevista desse sujeito, em ordem cronológica (2, 15, 21, etc.). Assim, ao citar-se S33-1, por exemplo, está se referindo à primeira passagem destacada do sujeito S33.

Optou-se por essa forma de identificação dos sujeitos para manter uma relação direta de igualdade com o número da gravação de sua entrevista e assim, novamente, tentar-se garantir a rastreabilidade, a organização, a referência e evitar se perder. Entretanto, observa-se que a identificação dos sujeitos adotada neste trabalho não começa de S01, mas de S23, e isso se explica porque as gravações começaram a ser feitas ainda com os sujeitos que participaram dos ensaios, na etapa de elaboração dos instrumentos de coletas de dados.

Paralelamente à montagem do arquivo de “Destaques”, foi-se construindo uma planilha para cada sujeito no *software excel* denominada “Mapa de Desempenho” (vide exemplo no Apêndice O – Mapas de Desempenho do Sujeito S30), no qual se relacionou as categorias e as subcategorias em cada nível com cada uma das etapas do percurso do sujeito descritas no arquivo “Destaques”. Essas categorias e subcategorias bem como os níveis foram inicialmente elaborados com base nas proposições apresentadas nessa Tese no tópico 3.4 (PROPOSIÇÕES TEÓRICAS).

Logo após, analisou-se novamente, cada um desses arquivos “Destaques” em conjunto com a planilha “Mapa de desempenho” o que resultou em um novo arquivo que se denominou de “Análise”. Nesse primeiro momento analisou-se a trajetória dos sujeitos com uso de termos simbólicos de senso comum. Depois de encerrado essa etapa inicial, partiu-se para uma segunda etapa em que se buscou identificar, no conjunto de casos, os processos cognitivos subjacentes à aprendizagem da Teoria de Circuitos Lineares, à luz da Epistemologia Genética,

com vistas ao método de generalização analítica, no qual, segundo Yin (2001, p. 54), “se utiliza uma teoria previamente desenvolvida como modelo, com o qual se deve comparar os resultados empíricos do estudo de caso”.

Durante esse processo, alterações foram sendo necessárias nos arquivos “Mapa de desempenho” e “Análise” o que, por sua vez, exigiu uma nova leitura do conjunto e consequentemente novas alterações, e assim sucessivamente o processo foi se repetindo para cada um dos sujeitos até que se julgou atingir um nível de estabilidade satisfatório no qual nenhuma mudança significativa se fez destacar.

Assim, além dos arquivos “Destaques” foram criados os arquivos “Percurso”, “Análises”, “Mapa de desempenho”, “Parecer descritivo”, “Resultados de Desempenho” e, por fim, o arquivo “Análise dos Dados”. Esse último visava reunir e resumir todas essas informações, servindo de base para a construção do capítulo 5 “Resultados das Entrevistas”, o qual, inicialmente, foi constituído de duas partes: uma que se referia à descrição dos níveis e outra relativa à análise das trajetórias individuais dos sujeitos, mas que, após uma discussão com o grupo de estudos e sugestão da Professora Orientadora Dra. Maria Luiza, decidiu-se reorganizar somente na forma de níveis, como apresentado mais adiante.

Como resultado desse processo foram surgindo inferências interessantes sobre as relações presentes nas trajetórias dos sujeitos, então decidiu-se sistematizá-las em arquivos que se denominou de “Inferências” (Inferências de Destaques e Inferências de Desempenho), visto que, acreditou-se que essas abstrações poderiam ser utilizadas para a elaboração das conclusões desse trabalho.

No próximo capítulo explica-se com mais detalhes o processo de construção das categorias de análise, e, no capítulo seguinte descreve-se o processo de construção dos níveis, processos esses que foram se desenvolvendo paralelamente - visto que um influi no outro - na medida em que os arquivos “Destaques” foram sendo analisados e os arquivos “Mapa de desempenho” e “Análise” foram sendo construídos e reconstruídos.

4.5.1 A construção das categorias de análise

Após a transcrição literal das entrevistas o primeiro passo foi reler os protocolos, para então extrair as principais argumentações dos sujeitos, relacionando-as e numerando-as em ordem cronológica no arquivo texto denominado de “Destaques”.

A seguir iniciou-se o processo de análise dos dados, a partir de um estudo mais acurado e detalhado dos arquivos “Destaques” com o objetivo de se extrair informações para que se pudesse estabelecer as categorias e subcategorias, tendo por referência o que se havia previsto nas proposições apresentadas no Capítulo 3, seção 4, dessa Tese. Essas proposições, elaboradas principalmente a partir de Piaget (1972a, 1972b, 1975, 1977, 1978), Piaget e Gréco (1974) e Inhelder, Bovet e Sinclair (1977), consideravam a possibilidade de, no desenvolvimento da compreensão dos circuitos elétricos lineares, identificar-se as seguintes características: i) três patamares (ação material sem conceituação, conceituação e operações formais); ii) concepções alternativas, dificuldades conceituais e dificuldades de representação; iii) contradições ou conflitos cognitivos; iv) transposições; v) pensamento formal (elementos verbais, raciocínio hipotético-dedutivo, lógica de proposições e autorreflexão da inteligência); vi) egocentrismo e descentração; vii) tomadas de consciência; viii) estruturas de assimilação (regulações e coordenações).

Durante essa análise foram montadas as planilhas denominadas “Mapas de Desempenho”, nas quais relacionou-se as etapas do percurso dos sujeitos, descritas no arquivo “Destaques”, com as categorias e suas características em cada nível. A seguir, analisou-se novamente, cada um desses arquivos “Destaques” em conjunto com a planilha “Mapa de desempenho” elaborando-se um arquivo, denominado de “Análise”, no qual se pretendia descrever e analisar essa trajetória dos sujeitos do ponto de vista da Epistemologia Genética.

Esse processo de análise foi provocando a necessidade de alterações nos arquivos “Mapa de desempenho”, nas categorias, nos níveis e no próprio arquivo de “Análise” o que, por sua vez, acabou exigindo novas leituras, tanto desse conjunto como da Epistemologia Genética, o que, em consequência, produziu novas alterações. Enfim, num processo interativo as análises foram sendo aprimoradas até que se julgou atingir um nível de estabilidade considerado satisfatório, no qual nenhuma mudança significativa se fazia mais necessária.

Assim, o referencial teórico foi ampliado para seguintes obras: Psicogênese e História das Ciências (PIAGET e GARCIA, 1987), Psicologia da Inteligência (PIAGET, 1967b), Epistemologia Genética (PIAGET, 2007), A Formação do Símbolo na Criança (PIAGET, 1990), Piaget ou a Inteligência em Evolução (MONTANGERO e MAURICE-NAVILLE, 1998) e Dicionário Terminológico de Jean Piaget (BATTRO, 1978).

Com base nesse novo referencial e nos resultados obtidos através da análise, foram estabelecidas três categorias de análise, quatro subcategorias e suas respectivas possibilidades de evidências, as quais deveriam ser investigadas nos resultados, conforme pode-se ver na Tabela 2 a seguir.

Cada subcategoria foi dividida em três níveis de evidências, com base em Piaget e Garcia (1987, p. 198), quando esses autores afirmam terem encontrado na história da física, em especial da mecânica, a sucessão das etapas *intra*, *inter* e *trans*. Para esses autores a etapa *intra* é aquela na qual “os dados são subsumidos sob leis gerais, mas que não os engendram nas suas diferenciações”, já na etapa *inter* “as invariantes são deduzidas de transformações”, e finalmente, na etapa *trans*, há uma “subordinação do sistema físico a uma álgebra geral, cujas novas variáveis correspondem aos seus operadores”.

Tabela 2: Categorias, subcategorias e evidências.

CATEGORIAS	SUBCATEGORIAS	EVIDÊNCIAS
Compreensão do Fenômeno		Pré-Noção, Noção Conceitual, Compreensão (Operatória ou Formal).
Coordenações	Relações	Parte-Parte, Parte-Todo, Gerais (Concretas ou Virtuais).
	Possibilidades	Considera ou coordena possibilidades, Cria hipóteses restritas ou gerais.
Observáveis e Atitudes	Observáveis	Material, Ação, Operação
	Atitude	Passiva, Investigativa (Desencadeada ou Espontânea)

Fonte: Elaborado pelo Pesquisador

A categoria “Observáveis e Atitudes” foi estabelecida para evidenciar argumentos que poderiam fornecer dados diretamente ainda muito relacionados com a experiência empírica do sujeito, a partir dos quais se fariam as inferências.

No que diz respeito à subcategoria “Atitudes”, que se constitui de argumentos que se referem às ações do sujeito sobre os objetos, lembra-se que Piaget e Garcia, (1987, p. 221) afirmam que para explicar a passagem de uma teoria T1 a uma teoria mais evoluída T2, referentes à construção dos conhecimentos científicos, é preciso considerar as diferenciações e as construções efetuadas pelo próprio sujeito, que passa a considerar os observáveis como sendo aqueles descobertos por meio de abstração empírica ou construídos a partir de coordenações, e, os que são obtidos por abstração reflexiva, sem serem verificados por novas experiências. Assim, estabeleceu-se três tipos de evidências: aquelas relativas à uma atitude “Passiva”, no qual a fala do sujeito demonstra que não há muito interesse, vontade ou conhecimento para ele poder tomar uma iniciativa e então o sujeito executa qualquer procedimento ou fornece qualquer resposta mais imediata, tal como em Piaget (1978, p. 105) quando o autor relata que no nível IA “o indivíduo, por si só, não tenta nenhuma manobra e se

limita a conduzir o carrinho com a mão”; aquelas que se referem a uma atitude mais “Investigativa”, mas que ainda não apresenta uma espontaneidade imediata, necessitando ser “Desencadeada”, de forma muitas vezes recorrente pelos questionamentos do entrevistador, demonstrando então uma conduta bastante parecida àquela citada por Piaget (1978, p. 38), quando esse autor relata que no nível IB “as ações espontâneas do indivíduo chamado a descobrir esse encadeamento são realmente bem mais longas e laboriosas do que se poderia prever”; e as evidências que indicam uma forma de atitude “Investigativa” mais “Espontânea”, na qual os argumentos do sujeito demonstram que ele age independentemente de questionamentos para buscar, de alguma forma, novos observáveis que o auxiliem a elaborar novas hipóteses para solucionar o problema, em um sentido análogo ao que descreve Piaget (1977, p. 127) ao afirmar que o simples fato de o sujeito procurar, no nível IIA, “relações entre fatores distintos, leva cedo ou tarde a melhor observá-los, em ligação com o início das coordenações propriamente inferenciais”.

Assim, no caso dos sujeitos desse estudo, pode-se inferir que a atitude investigativa, mesmo que ainda desencadeada, poderá auxiliar o sujeito constatar novos observáveis, estabelecer novas coordenações inferenciais, bem como considerar novas possibilidades e relações, e, enfim, evoluir a sua compreensão.

Com relação à subcategoria “Observáveis”, considerou-se ainda a mesma passagem de Piaget e Garcia, (1987, p. 221) e definiu-se três tipos de evidências para os “Observáveis”: aquelas descobertas por meio de abstração empírica, isto é, referentes à observáveis de origem concreta, material, constatados sensorialmente; aquelas que passam a incluir observáveis construídos a partir das coordenações, como suas ações; e aquelas que podem ser obtidas por abstração reflexiva, sem necessidade de novas experiências, ou seja, as operações. No Apêndice P (Desenhos do Sujeito S31) apresenta-se os desenhos do circuito elaborados pelo sujeito S31, como exemplo de observáveis constatados sobre a ligação dos componentes, e no Apêndice Q (Observáveis Elétricos para o Sujeito S34) apresenta-se, como exemplo, os observáveis relativos às grandezas elétricas, a serem constatados pelo Sujeito S34.

Já a categoria “Coordenações” tinha por objetivo agregar respostas que deveriam fornecer dados mais relacionados com as operações mentais do sujeito, sendo dividida em duas subcategorias “Coordenações de Possibilidades” e “Coordenações de Relações”.

Lembrando que Piaget e Garcia (1987, p. 222) afirmam que as coordenações podem ser de dois tipos procedendo de generalizações construtivas, extraídas de abstrações reflexivas ou por extensão dos domínios de aplicações, então, com relação à subcategoria “Coordenações de Possibilidades” definiu-se as seguintes evidências: aquelas que

demonstram que o sujeito negligencia ou especula possibilidades de solução do problema, portanto, só há aqui a coordenação das ações, restrita somente ao empírico, à execução prática do experimento sem abstração reflexiva; aquelas que denotam que o sujeito começa a considerar possibilidades ou, até mesmo, criar hipóteses, embora ainda restritas, ou seja, começam a se desenvolver as generalizações construtivas, extraídas de abstrações reflexivas; e, aquelas que indicam que o sujeito passa a coordenar possibilidades e até criar hipóteses mais gerais, caracterizando as generalizações construtivas, extraídas de abstrações reflexivas e também por extensão dos domínios de aplicações.

Ainda com base nessa mesma passagem de Piaget e Garcia (1987, p. 222), mas, agora, com relação à subcategoria “Coordenações de Relações”, definiu-se as seguintes evidências: aquelas que demonstram que as relações se estabelecem somente entre uma parte e a outra parte, desconsiderando o todo, portanto, não há ainda generalizações construtivas; aquelas que indicam que as relações se ampliam da parte para o todo, como um início de generalizações construtivas, extraídas de abstrações reflexivas; e, aquelas que apresentam relações que se estabelecem entre totalidades, ou seja, as generalizações construtivas são extraídas não somente de abstrações reflexivas, mas também por extensão dos domínios de aplicações. Esse tipo de relação ainda pode incluir tanto as abstrações que procedem sobre operações vinculadas ao concreto como as abstrações que procedem sobre operações virtuais ou formais, totalmente desvinculadas do concreto, ou seja, tal como operações realizadas sobre operações.

Por fim elaborou-se uma categoria de cunho mais geral, que tinha por objetivo agregar argumentos que poderiam caracterizar as estruturas de pensamento dos sujeitos e englobar as demais categorias, fazendo um fechamento das análises e encaminhando para o objetivo central da Tese de identificar os processos cognitivos dos sujeitos, a qual foi denominada de “Compreensão do Fenômeno”.

Essa categoria foi baseada em Piaget e Garcia (1987, p. 222) que defendem que as interpretações podem ser ligadas por meio de composições operatórias que equilibrem as diferenciações e as integrações. Os argumentos incluídos nessa categoria devem apresentar as seguintes evidências: aquelas que se referem a uma pré-noção do fenômeno, ou seja, que indicam pouca diferenciação e integração entre os fenômenos de corrente, resistência e tensão, bem como de pouca integração entre os observáveis empíricos e os esquemas conceituais; aquelas que incorporaram pré-conceitos, isto é, que indicam a existência de uma maior integração e diferenciação dos fenômenos e maior integração dos observáveis em relação aos esquemas conceituais; aquelas que demonstram o desenvolvimento de esquemas conceituais de relações ou operatórios, ou seja, que apresentam indicação de um nível de

integração e diferenciação operatório, ainda um pouco restrito às operações concretas; e, finalmente, aquelas que demonstram constituir-se de esquemas conceituais formais implicados na compreensão dos fenômenos, isto é, aqueles que apresentam evidências de integração e diferenciação em um nível operatório formal, relacionada às operações virtuais, em outras palavras, são operações efetuadas sobre outras operações.

No próximo tópico descreve-se como ocorreu a construção dos níveis durante o processo de análise dos dados, selecionados através dos destaques de cada entrevista, em correspondência com o referencial teórico que serviu de fundamentação para essa elaboração.

4.5.2 A construção dos níveis

Ao começar esse estudo tinha-se como objetivo principal identificar a compreensão dos sujeitos sobre os fenômenos elétricos bem como o seu entendimento sobre as condições de validade do respectivo modelo teórico. Com o avanço da pesquisa esse objetivo foi sendo reconstruído e tornou-se cada vez mais evidente o interesse em conhecer e compreender os processos de construção do conhecimento dos fenômenos físicos. Encontrou-se então o problema da resistência interna da pilha como uma possibilidade de investigação, visto que este envolve a constatação e a compreensão de relações implícitas em circuitos elétricos lineares de corrente contínua, expressas através de modelos físicos e matemáticos, o que remetia então, a uma possível psicogênese da compreensão desse fenômeno.

No Projeto de Tese, com base no quadro das aprendizagens dos sujeitos sobre a noção de conservação de quantidades contínuas apresentada por Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 58), a partir das leituras de Piaget (1972a, 1972b, 1975, 1977, 1978), Piaget e Gréco (1974), e com base no que se constatou das entrevistas durante o Estudo Preliminar, apresentou-se a Proposição de que haveria três níveis de construção cognitiva, com continuidade funcional: i) nível 1, das operações mentais sem conceituação, no qual o sujeito demonstra não saber explicar o que fez nem como fazer, não apresentando evidências de Tomadas de Consciência conceituadas e a fazendo representações que se limitam ao concreto e material; ii) nível 2, da conceituação parcial, no qual se evidenciam Tomadas de Consciência das suas ações e operações, mas ainda sem apresentar explicações coerentes sobre essas operações, sendo que as representações começam a se tornar conceituadas; iii) nível 3, da conceituação plena, no qual os argumentos provem de abstrações refletidas, apresentando hipóteses, explicações

elaboradas, modelamentos matemáticos e a representação passa a ter uma conotação hipotético-dedutiva.

A seguir, durante a etapa de elaboração do instrumento de coleta de dados, ensaios e análises das entrevistas dos ensaios, e, ainda, com a busca e leitura dos artigos do estado da arte e de outras obras da Epistemologia Genética, essa proposta foi sendo reconstruída, obtendo-se então o seguinte resultado parcial: nível 1, assimilação deformada do fenômeno; nível 2, noção conceitual preliminar; nível 3, compreensão do fenômeno.

Após a definição do instrumento de coleta de dados, durante o processo de análise dos destaques principais (arquivos “Destaques”), retirados das transcrições das entrevistas dos sujeitos, e com a leitura de outras obras, já citadas no capítulo anterior, tentou-se construir um modelo de níveis que articulasse as concepções dos sujeitos expressas através dos seus argumentos com os conceitos definidos na Epistemologia Genética.

Neste sentido, consideraram-se os conceitos de *intra*, *inter* e *trans*, definidos por Piaget e Garcia (1987), na obra *Psicogênese e História das Ciências*.

Assim, segundo Piaget e Garcia (1987, p. 198, 199) a fase *intrafactual* é aquela na qual “os dados são subsumidos sob leis gerais, mas que não os engendram nas suas diferenciações”, sendo “os fatos obtidos por simples abstrações empíricas”. No que se refere às grandezas físicas presentes no fenômeno “apenas são reconhecidas aquelas cujos efeitos são observáveis” (PIAGET; GARCIA, 1987, p. 203). Já na fase *interfactual*, “as invariantes são deduzidas de transformações”, ou seja, são construídas “com base em abstrações reflexivas e generalizações completivas”. Por fim, a fase *transfactual* é caracterizada pela “subordinação do sistema físico a uma álgebra geral, cujas novas variáveis correspondem aos seus operadores”. Nessa fase, segundo Piaget e Garcia (1987, p. 204), é verificada uma construção teórica, através de novas experiências e de inferências em relação à teoria anterior, bem como uma necessidade intrínseca de um modelo que se impõe aos novos observáveis, construídos dedutivamente na fase *inter*.

A seguir, foram apreciados os conceitos de “pensamento simbólico ou preconceitual”, “pensamento intuitivo”, “pensamento operatório” e “pensamento formal”, apresentados na obra *Psicologia da Inteligência* (PIAGET, 1967b).

Nesse livro, Piaget (1967b, p. 162) afirma que com o aparecimento da função simbólica, inicia-se um dos primeiros períodos do desenvolvimento no qual se desenvolve o “pensamento simbólico ou preconceitual”. Estimou-se que esse conceito de Piaget poderia ter alguma correspondência com o que se denominou, nessa Tese, de “Nível das Pré-noções”, pois as noções conceituais apresentadas pelos sujeitos nesse nível são ainda muito incipientes.

O próximo período, segundo o autor, constitui-se de um pensamento formado por articulações progressivas que conduzem ao limiar das operações, isto é, o “pensamento intuitivo”, o qual julgou-se estar em proximidade com o que denominou-se de “Nível das Noções ou dos Pré-conceitos”.

O período seguinte é aquele no qual os agrupamentos operatórios do pensamento, incidem sobre os objetos manipuláveis ou susceptíveis de serem intuicionados, organizando-se então “operações concretas”, o qual, pode-se supor estar em equivalência com o que denominou-se de “Nível da Compreensão Operatória ou Concreta”.

O último período, ou do pensamento formal, segundo Piaget, comporta agrupamentos que caracterizam a inteligência reflexiva completa, e assim imaginou-se estar em relação com o que denominou-se de “Nível da Compreensão Formal”.

Com base nessas informações, e levando também em conta as obras “Formação do Símbolo na Criança” (PIAGET, 1990), “Dicionário Terminológico de Jean Piaget” (BATTRO, 1978) e “Piaget ou a Inteligência em Evolução” (MONTANGERO; MAURICE-NAVILLE, 1998), reestruturou-se novamente a proposta de patamares em um modelo, o qual se considerou como satisfatório para os interesses dessa pesquisa naquele momento.

Assim, a definição de pré-noção, por analogia à esquemas verbais (PIAGET, 1990, p. 281) contribuiu para a classificação do nível inicial ou das “Pré-noções”; a definição de pré-conceito (PIAGET, 1990, p. 290) foi usada como base para a formação do “Nível das Noções ou dos Pré-conceitos”; a definição de esquemas operatórios (PIAGET, 1990, p. 310) foi referência para a constituição do “Nível da Compreensão Operatória”; e, a definição de esquemas formais (MONTANGERO; MAURICE-NAVILLE, 1998, p. 168) foi empregada para estabelecer o “Nível da Compreensão Formal”, como exposto na Tabela 3, e detalhadamente descrito no Capítulo 5, a seguir.

5 RESULTADOS DAS ENTREVISTAS

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os principais resultados das entrevistas sobre o experimento pilha-lâmpada-chuveiro com base em quatro referenciais: i) as categorias de análise; ii) a literatura referente à Epistemologia Genética; iii) as passagens consideradas relevantes para a análise dos processos de construção da compreensão das relações implícitas no fenômeno da redução do brilho da lâmpada, segundo o ponto de vista do autor, as quais foram elencadas no arquivo “Destaques”; e iv) o método de generalização analítica, no qual, segundo Yin (2001, p. 54), “se utiliza uma teoria previamente desenvolvida como modelo, com o qual se deve comparar os resultados empíricos do estudo de caso”.

O processo de construção da compreensão das relações implícitas no fenômeno da redução do brilho da lâmpada desenvolvido pelos sujeitos, cujo modelo científico explicativo corresponde à resistência interna das pilhas, foi dividido em quatro patamares sequenciais e hierárquicos, conforme a Tabela 3, sendo descrito com mais detalhes na sequência. Esses patamares foram definidos com respeito às categorias e subcategorias elaboradas e adequadas aos resultados obtidos nas entrevistas, e, com referência, principalmente, aos estudos de Inhelder, Bovet e Sinclair (1977) sobre a psicogênese dos fenômenos físicos, aos trabalhos de Piaget e Garcia (1987), sobre as etapas *intra*, *inter* e *trans*, e às obras de Piaget (1967b, 1972a, 1972b, 1972c, 1975, 1977, 1978, 1990, 1998, 2005, 2007), como citado no capítulo anterior.

Tabela 3 – Patamares de compreensão do fenômeno

Patamares	Observáveis e Atitudes		Coordenações		Compreensão do fenômeno
	Atitude	Observáveis	Possibilidades	Relações	
Subnível 3B	Espontânea	Material, Ação e Operação	Coordena possibilidades/ cria hipóteses gerais	Gerais e Virtuais	Formal
Subnível 3A				Gerais e Concretas	Operatória
Nível 2	Desencadeada	Material e Ação	Considera possibilidades/ cria hipóteses restritas	Parte-todo	Noção
Nível 1	Passiva	Material	Negligencia/ Especula	Parte-parte	Pré-noção

Fonte: Elaborado pelo pesquisador

5.1 NÍVEL 1: PRÉ-NOÇÕES OU ASSIMILAÇÃO DIRETA

O Nível das Pré-noções é o nível inicial da compreensão, que se caracteriza por estruturas de pensamento ainda muito incipientes e explicações ainda distantes e um pouco deformadas em relação aos conceitos científicos, tais como a da divisão de corrente e a da divisão de energia.

A argumentação da divisão de corrente, basicamente, explica que, no instante em que o chuveiro é ligado, a corrente que circulava inicialmente na lâmpada se distribui, proporcionalmente, para cada um desses dois componentes. Por isso, o valor da corrente na lâmpada se reduz e então ela diminui o seu brilho. Um exemplo desse argumento pode ser visto em S31-2, quando então o sujeito explica as razões da redução do brilho da lâmpada: *“O chuveiro é um grande consumidor de energia elétrica, daí se ele precisa puxar muito mais corrente elétrica ele acaba puxando um pouco dos outros equipamentos”*.

O que se verifica nesse Nível 1 é que esse argumento possui tanta consistência para os sujeitos que, mesmo eles fazendo o desenho do circuito, no qual, primeiro liga-se somente a lâmpada na pilha e, depois, liga-se o chuveiro em paralelo com a lâmpada, eles não conseguem constatar que a corrente na lâmpada, sem considerar a existência da resistência interna, não irá variar, tal como em S24-9: *“Agora, como tu explicarias o que está acontecendo no circuito usando esse desenho? A corrente vem pra cá (para a lâmpada) com a chave (interruptor do chuveiro) desligada, somente aqui (na lâmpada). Com a chave (interruptor do chuveiro) ligada, ela (a lâmpada) vai ter que dividir essa corrente com o chuveiro”*.

De forma parecida, o argumento da divisão de energia se baseia no princípio de que, como a energia do sistema é constante, quando se liga um outro dispositivo a esse sistema, a energia que antes era destinada ao primeiro dispositivo agora precisa ser dividida com o segundo. Um exemplo dessa argumentação é apresentado em S34-9, quando ele constata a redução no brilho da lâmpada no circuito simulador e lhe é perguntado o motivo da lâmpada diminuir o seu brilho, então, S34 responde: *“Porque vai ter uma outra coisa puxando energia, então ela vai acabar perdendo um pouco da energia”*.

As estruturas, por sua vez, podem ser inferidas a partir das características das categorias e das subcategorias de análise, as quais são comentadas a seguir.

Em primeiro lugar, analisando a subcategoria atitudes, constatou-se que as respostas relativas a esse patamar parecem se caracterizar por serem ainda muito passivas, apresentando

pouca espontaneidade e interesse restrito por investigar os fenômenos. Os sujeitos demonstram que a explicação que eles conhecem já os satisfaz. Em alguns casos, constata-se até que esses argumentos parecem ainda assemelhar-se ou conter alguns resíduos daquelas fabulações ou respostas fabuladas (PIAGET, 2005, p. 16), ou então, de um animismo (PIAGET, 2005, p. 176) apresentado pelas crianças nos experimentos de Piaget, como, por exemplo, em S34-5, quando se pergunta ao sujeito porque a lâmpada ilumina, sua resposta é: *“Porque o que está dentro dela já é luminosidade”*.

Nesses casos, além da passividade demonstrada por uma pseudonecessidade de que deve ser assim, o sujeito demonstra que o seu argumento é suficiente para ele e parece não constatar, ou não ter esquemas conceituais para constatar, que essa explicação é muito ingênua e distante do conceito científico que explica a luminosidade a partir do aumento de temperatura do filamento da lâmpada, produzido pela corrente e tensão sobre ela.

No que diz respeito ao tipo de observáveis, parece que há uma constatação ainda centrada nos observáveis materiais concretos, isto é, aqueles que podem ser imediatamente percebidos pelos sentidos, pois os sujeitos demonstram uma dificuldade em constatar suas ações e operações mentais. Como exemplo, em S31-14, quando o sujeito estava defendendo o argumento da divisão da corrente e lhe é solicitado que calcule a corrente na lâmpada com e sem o chuveiro, e as duas dão o mesmo valor, mas o sujeito não constata essa contradição, tendo-se então que questioná-lo: *“Mas essa corrente da lâmpada sozinha não é a mesma corrente que passa na lâmpada quando tu ligas o chuveiro? É, a mesma corrente”*.

Importante observar aqui que, na realidade, essas correntes não são iguais, visto que, em virtude de haver essa característica da resistência interna, quando a corrente aumenta devido à colocação do resistor do chuveiro, a queda de tensão na resistência interna também aumenta fazendo com que a tensão nos terminais da pilha diminua, o que, por sua vez, faz com que a corrente na lâmpada também diminua e ela, então, brilhe menos.

Entretanto, imaginou-se que se não se apresentasse aos sujeitos esse observável de que as correntes seriam iguais, dificilmente eles conseguiriam descentrar os seus pontos de vista equivocados, de que o brilho da lâmpada diminuía em virtude de a corrente na lâmpada reduzir pelo fato de ela ter que se dividir com o chuveiro. Da mesma forma, como não se encontrou outra possibilidade de facilitar a descentração desses pontos de vista, julgou-se necessário considerar, então, que as correntes seriam iguais, apesar de não serem.

Supõe-se que essa dificuldade dos sujeitos em constatar as suas ações e operações deva estar relacionada a um certo egocentrismo (PIAGET, 1990, p. 361), isto é, parece que o ponto de vista do sujeito ainda está muito centrado nas suas próprias perspectivas. Nessa

passagem anteriormente citada, fica evidenciada a negligência ou o recalque dos observáveis “corrente na lâmpada sem o chuveiro” e “corrente na lâmpada com o chuveiro”.

Assim, essas deformações podem ocorrer em virtude de que as “representações mais egocêntricas se acompanham sempre do máximo de fenomenismo, permanecendo a assimilação à superfície das coisas quando a assimilação as deforma em função dos caracteres mais periféricos da ação” (PIAGET, 1990, p. 368). Tal fenomenismo pode ser verificado em S35-2, quando o sujeito simplesmente descreve a redução do brilho da lâmpada em virtude de um possível “consumo” de corrente pelo chuveiro, sem explicar as relações entre esses dois componentes que poderiam ter levado a essa redução de corrente na lâmpada: “O *chuveiro consome muita corrente daí falta corrente para a iluminação*”.

Por outro lado, essa dificuldade pode também estar relacionada a uma formação ainda incompleta dos esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares, uma vez que, segundo Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 65): “os observáveis não são assimiláveis senão na medida em que o sujeito é capaz de os inserir nos esquemas já elaborados”.

Baseando-se no que se observou nessas duas categorias, “atitude e observáveis”, pode-se então supor que, nesse nível, há uma certa predominância do que Piaget (1990, p. 361) denomina como egocentrismo, enquanto aquilo que é, “por um lado, primado da satisfação sobre a constatação objetiva e, por outro lado, deformação do real em função da ação e do ponto de vista propriamente ditos”. Ainda pode-se afirmar, baseando-se nessas observações e nas afirmações desse mesmo autor, que esse egocentrismo é inconsciente de si mesmo e representa uma indissociação entre o que é subjetivo e o que é objetivo.

Infere-se, ainda, que esse egocentrismo tenha sido evidenciado nas argumentações dos sujeitos através de: i) atitudes bastante passivas, tal como, em S29-7, quando o sujeito demonstra tomar consciência de que o desenho que fez não corresponde ao circuito montado e pergunta se pode fazer outro desenho: “*posso fazer outro desenho?*”; ii) um excesso de foco no resultado, que é o circuito montado, negligenciando suas ações e operações, como em S29-6: “Na pilha sozinha tu medistes 5,4V, mas com a lâmpada tem 4,3V. *É que na parte teórica e a parte prática tem uma diferença*”, demonstrando que, devido a esse egocentrismo, ele não consegue coordenar relações entre os modelos teóricos dos circuitos elétricos lineares e os observáveis; iii) uma desconsideração ou não coordenação, bem como a falta de criação de possibilidades, que faz o sujeito recalcar a própria possibilidade da existência de uma resistência interna na pilha, apesar de a mesma já ter sido apresentada a ele através de supostas contra-argumentações de colegas fictícios, tendo ele demonstrado concordância, tal como em S29-12: “*Eu também acho, porque quando só foi ligado isso aqui (a pilha) com a*

lâmpada, (a tensão) diminuiu um pouco e quando foi posto a resistência (do chuveiro) ali, diminuiu mais"; iv) uma dificuldade em estabelecer e coordenar relações mais gerais, recorrendo, então, a generalizações que resultam em pré-conceitos, tal como, em S29-15, quando é perguntado ao sujeito à qual resistência ele está se referindo ao afirmar que a tensão e a corrente mudam no circuito: *"a resistência de tudo que envolve o circuito"*; vi) uma desconsideração dos observáveis obtidos a partir de suas ações e operações em oposição aos observáveis materiais constatados pelos sentidos, tal como em S33-13: *"Pois é. Pelo cálculo não diminuiu. Mas eu acho que pela experiência vista aqui eu acho que ela diminui"*.

Já no que diz respeito à coordenação de possibilidades, acredita-se que a dificuldade para considerar outras perspectivas e a deformação ou negligência dos observáveis possa favorecer que o sujeito apresente uma explicação relacionada a uma intuição enquanto um pensamento pré-operatório, isto é, aquele que, segundo Battro (1978, p. 142), "ainda incapaz de 'agrupamentos' e de 'grupos' não se apóia senão sobre as configurações perceptivas ou sobre os tateamentos empíricos da ação", tal como um fenomenismo, como, por exemplo, em S29-1, quando se questiona o sujeito sobre o motivo da redução do brilho da lâmpada e ele afirma: *"Como é chuveiro elétrico deve acontecer uma queda, porque é, como se diz, é instantâneo, na hora"*.

Em outras argumentações desse nível, constatou-se algum tipo de especulação, como, por exemplo, em S31-23, quando o sujeito, ao defender que a queda de tensão poderia ter sido causada por reações físicas e lhe é perguntado, então, que tipo de reações físicas poderiam causar a queda da tensão, ele afirma: *"Eu acho que a própria movimentação dos elétrons de um lado para o outro. Porque tu vais ver, a mesma quantidade de elétrons que sai não é a mesma quantidade de elétrons que chega. O que acontece com os elétrons no caminho? Esses que não chegam? Aí que entram as reações químicas. Eles se perdem, se misturam, se transformam. Se perdem não, se transformam ou se misturam. Se transformam em que? Em calor"*. Supõe-se, também, que essas explicações mais especulativas possam ter se originado devido à não consolidação dos esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares em virtude desse mesmo egocentrismo.

Ainda, outra provável consequência desse egocentrismo, parece ser que as respostas, nesse nível, ainda não evidenciam o estabelecimento de relações parte-todo, ficando bastante restritas às relações parte-parte, tal como, em S29-9, quando o sujeito é questionado se, ao usar as fontes reguladas, a tensão também diminui quando o chuveiro é ligado: *"Quando tem resistência no circuito muda"*, demonstrando que seu raciocínio se baseia numa relação direta

parte-a-parte de que se a queda de tensão vale para a relação pilha-lâmpada-chuveiro, também deverá valer para a relação fonte-lâmpada-chuveiro, onde a fonte seria a regulada.

Observam-se, ainda nesse nível, algumas outras passagens onde há a presença de atributos que parecem estar diretamente relacionados com esse egocentrismo, tal como a pseudonecessidade ou até mesmo o pré-conceito. Cita-se como exemplo S24-3, quando se perguntou ao sujeito o que ele pensava sobre o contra-argumento do colega de que a lâmpada diminui o brilho quando se liga o chuveiro, e, então, o sujeito respondeu: *“Eu acho que ele está certo, porque quando tu vais ligar ele está puxando a corrente da rede, a tensão, e vai provavelmente desligar alguma outra coisa que esteja ligada”*. Esse argumento demonstra ser bastante superficial, apresentando evidências de que o raciocínio ocorre através de uma analogia direta entre o comportamento das correntes e o princípio da conservação de energia, uma lógica egocêntrica, ou então, uma pseudonecessidade de que deve ser assim mesmo, pois não remete às causas originais dessa limitação da corrente.

Neste sentido, de um modo geral, as respostas desse patamar se caracterizam por estarem ainda muito centradas em uma pré-noção de divisão de corrente ou de conservação de energia. Por exemplo, isso se pode verificar em S24-22, quando, após o sujeito ter passado por diversos questionamentos em que pode constatar uma queda de tensão na pilha de 2,83V, e ouviu argumentações de colegas a respeito de outras possíveis causas para a redução do brilho da lâmpada, mesmo assim, ele continuou defendendo o seu argumento da divisão de corrente. Neste caso, constata-se que, quando foi questionado sobre onde foi parar a tensão de 2,83V, o sujeito responde: *“Ela (a pilha) baixa a tensão pra compensar a corrente gasta e depois (quando o chuveiro é desligado) volta porque não tem mais corrente para gastar”*.

Considera-se que essa explicação se caracteriza como uma pré-noção por ainda não estar relacionada com a definição estabelecida nos conceitos científicos, os quais, segundo Piaget (1990, p. 281), são: *“ora sistemas de classes e, portanto, conjunto de objetos agrupados segundo relações de encaixes hierárquicos (parte e todo), ora sistemas de relações particulares agrupadas segundo sua natureza assimétrica ou simétrica”*.

Por outro lado, acredita-se que essa pré-noção esteja em correspondência com aquela característica dos esquemas verbais, enunciada por Piaget (1990, p. 281), de que essa construção ocorra por *“assimilação direta desses objetos entre eles, que seria fundamentada somente sobre suas qualidades objetivas fazendo intervir, além disso, uma assimilação das coisas do próprio ponto de vista do sujeito”*.

Em alguns casos desse nível, também aparece uma outra característica que indica essa pré-noção, enquanto uma assimilação direta dos observáveis, que se refere ao fato de alguns

sujeitos pensarem que a redução do brilho da lâmpada ocorre porque o resistor do chuveiro foi colocado em série, produzindo, então, uma queda de tensão, tal como em S29-5: “E por que tu achas que dá essa redução no brilho na lâmpada? *“Porque aumenta a resistência. Aumenta a resistência do circuito e tira um pouco de tensão. Tira um pouco da tensão da pilha? Não, da pilha para cá. A pilha continua em 6V, a tensão que sai, vem para cá e diminui”*”.

Observa-se que os sujeitos nesse nível apresentam dificuldades em elaborar a hipótese de que possa haver uma queda de tensão na pilha, como, por exemplo, em S24-11: “Quanto tu achas que vai ficar a tensão na pilha quando tu ligares? *Vai ficar igual, vai se manter. Vai se manter em 6V? Vai se manter em 6. Porque? É o que diz ali*”. Parece que existe uma pseudonecessidade de que tenha que ser assim porque é isso que está escrito. Acredita-se que essa pseudonecessidade deva estar relacionada a um pensamento egocêntrico, enquanto aquele que “provém de uma falta de diferenciação entre seu próprio ponto de vista e os outros possíveis” (MONTANGERO; MAURICE-NAVILLE, 1998, p. 144), desconsiderando, assim, outras variáveis, tais como o envelhecimento, o uso da pilha e a própria resistência interna.

De outro modo, pode ser que essa dificuldade também possa estar relacionada com outros fatores, como, por exemplo: i) esquemas conceituais construídos a partir do uso exaustivo, em aulas teóricas, de livros e exercícios escritos, do modelo de fonte de tensão ideal, o qual não possui resistência interna e onde a tensão da fonte é constante; ii) esquemas conceituais construídos a partir do uso exclusivo, em aulas de laboratório, de uma fonte de tensão regulada, a qual apresenta uma tensão de saída constante; iii) o uso de uma analogia com o princípio de conservação de energia; iv) o poder da regra, a qual, no caso, corresponde às especificações dos componentes.

Assim, para possibilitar a constatação de que ocorre uma queda de tensão na pilha ao ligar o resistor do chuveiro, foi preciso, em primeiro lugar, apresentar aos sujeitos algum observável que colocasse em contradição o seu argumento de que a corrente da pilha se dividia entre a lâmpada e o chuveiro. Para tanto, solicitou-se que os sujeitos fizessem um desenho da pilha ligando a lâmpada e outro desenho da pilha ligando a lâmpada e o chuveiro, e depois que calculassem a corrente na lâmpada nos dois casos.

Neste caso, foi necessário argumentar como se não houvesse uma resistência interna nas pilhas, falseando a informação de que a corrente na lâmpada manter-se-ia fixa em 250mA, tanto na situação em que não havia o chuveiro como na situação em que havia. Entretanto, sabe-se que, se fosse levado em conta o papel dessa resistência interna da pilha, a corrente seria menor do que 250mA em função da limitação produzida por essa resistência, que fica em série com o circuito lâmpada-chuveiro.

Apesar disso, precisou-se desse falseamento para oferecer ao sujeito a oportunidade de descentrar seu ponto de vista na direção de uma abertura para outras possibilidades (PIAGET, 2007, p. 102). Por outro lado, considerou-se também que, se fosse utilizado o valor real da corrente, haveria a possibilidade de que a constatação de que a corrente real é menor do que 250mA levasse a reforçar a pseudoconcepção de divisão de corrente.

Uma constatação interessante nesse Nível é da necessidade de se solicitar que, além dos sujeitos fazerem o desenho, que também calculassem as correntes, de modo que pudessem constatar a inadequação dos seus argumentos da divisão de corrente, tal como em S30-5, quando verifica-se que o sujeito, somente com o desenho, não consegue ver a igualdade das correntes: “*Quando eu coloco esse resistor (do chuveiro), ele tem que dividir a corrente com o outro resistor (da lâmpada). Diminui a corrente que ela (a lâmpada) recebe*”.

Essa situação parece estar em correspondência com aquela citada por Montangero e Maurice-Naville (1998, p. 168), mesmo se tratando de um nível superior ao descrito por esses autores, na qual eles relatam que, para aquele nível, “a imagem do esquema é necessária à existência do esquema”. Entretanto, nesta Tese, verifica-se que, nesse Nível 1, a imagem ainda não demonstra ser suficiente para a tomada de consciência de que a corrente não se divide, no sentido adotado pelos sujeitos, o que demonstra estar de acordo com Piaget (1977, p. 125), quando este autor constatou que a representação através de imagem “não chega de forma alguma a reproduzir em todos os casos o que foi percebido, mas depende de uma reconstrução pré-operatória ou operatória do dado”.

Assim, a transição para o Nível 2 parece começar a se construir a partir de três eventos: i) primeiro, uma tomada de consciência de que a corrente não muda de valor, como, por exemplo, em S32-9, quando o sujeito, ao calcular as correntes no circuito, constata que a corrente na lâmpada com e sem o chuveiro não varia: “*Aqui deu 250mA. Opa, já deu problema. Deu problema porque eu disse que seria 250mA aqui e 25% aqui*”; ii) segundo, a constatação de que houve uma queda de tensão na pilha, tal como em S23-14, quando se pergunta ao sujeito o que aconteceu quando ele ligou o resistor do chuveiro e o sujeito responde: “*A tensão caiu*”; iii) terceiro, um sentimento de embaraço profundo que faz os sujeitos acreditarem na existência de um conflito cognitivo ou contradição (PIAGET, 1977, p. 150) entre suas antigas crenças na divisão da corrente, as quais não servem mais para explicar a redução do brilho da lâmpada, e os dados de observação relativos à queda de tensão na pilha, os quais ainda não comportam esquemas conceituais para explicá-los e para relacioná-los com a redução do brilho da lâmpada, tal como quando em S32-18, o sujeito afirma: “*Agora não entendi mais nada*”.

Além disso, constata-se que essa construção necessita também do desenvolvimento de esquemas conceituais relativos aos circuitos elétricos lineares, da descentração dos pontos de vista e de um movimento na direção de tentar superar esse conflito cognitivo.

Verifica-se então que, nesse caso, os argumentos dos sujeitos encontram-se em uma situação transitória, pois, apesar de esses sujeitos haverem constatado que a corrente não mudou e que ocorreu uma queda de tensão, e, apesar dessas constatações os levarem a uma situação de conflito com a sua crença anterior de que a corrente se dividia, eles ainda não entendem essa queda de tensão e a razão de sua ocorrência e, principalmente, não conseguem relacionar diretamente essa queda com a redução do brilho da lâmpada, o que se estabelece como uma condição necessária para alcançar o Nível 2, da noção conceitual preliminar.

Por outro lado, encontrou-se alguns sujeitos que não demonstraram terem se sensibilizado de imediato com a contradição, apresentando, por isso, maiores dificuldades em tomar consciência da ocorrência da queda na tensão e, em consequência, maiores dificuldades em alcançar o Nível 2, enquanto a contradição não se tornou consciente para eles. Como exemplo, cita-se o sujeito S24 que, no início de sua fala em S24-12, havia afirmado que “*Se diminuir a tensão da fonte vai diminuir a da lâmpada, mas a resistência dela (da lâmpada) vai se manter igual. Então a corrente também vai diminuir*”, entretanto, no decorrer da entrevista, em S24-12, ele passa a defender que “*a tensão da fonte diminui pra se adequar à tensão da lâmpada*”, e, na sequência, em S24-13, ao ser questionado sobre o que ele imagina que faça com que a tensão na pilha diminua, S24 afirma: “*É que a corrente dela deve se manter igual*”, demonstrando que ele não consegue constatar essas contradições mesmo apresentando argumentos conflitantes em sequência.

Assim, neste caso, “a considerar as suas palavras, percebe-se claramente que o sujeito não sente a contradição” e, por isso, pode-se afirmar que essa contradição “não tem também por sede a consciência do sujeito” (PIAGET, 1977, p. 203). Em outras palavras, pode-se supor que os argumentos dos sujeitos demonstram um recalque ou uma negligência ao observável (PIAGET, 1977, p. 202) que eles mesmo haviam constatado anteriormente, situação essa que os faz distanciarem-se ainda mais da contradição e, conseqüentemente, adiarem a evolução para o Nível das Noções.

Fato notável é que todos os dez sujeitos que foram entrevistados, mesmo aqueles que chegaram a alcançar o nível da compreensão formal do fenômeno da resistência interna da pilha, começaram as suas explicações a partir desse patamar inicial das Pré-noções, evocando a argumentação de que a redução do brilho da lâmpada ocorre porque a corrente que antes passava somente pela lâmpada, quando o chuveiro fosse ligado, teria que dividir o seu valor

inicial entre esses dois componentes. Assim, esse fato leva a sugerir a possibilidade de que possa haver uma psicogênese desses conhecimentos.

Por outro lado, observou-se que, durante as entrevistas feitas neste estudo, somente três sujeitos demonstraram continuar mantendo os seus argumentos vinculados a esse Nível 1 da Pré-noção, não evidenciando características que pudessem justificar a evolução dos seus argumentos para o Nível 2, que é o Nível do Pré-Conceito ou da Noção Conceitual Subjacente ou Preliminar do fenômeno da resistência interna.

5.2 NÍVEL 2: NOÇÃO CONCEITUAL SUBJACENTE OU PRELIMINAR

O Nível da Noção Conceitual Subjacente ou Preliminar do fenômeno da resistência interna, também denominado de Nível do Pré-conceito, se caracteriza por estruturas que são intermediárias entre as mais elementares do Nível 1 e as mais gerais e complexas do Nível 3, apresentando como destaques argumentos que evocam a noção de limite de corrente e a noção de queda de tensão na pilha.

Nesse nível, a noção de um limite de corrente existe como uma pseudonecessidade de que deve ser assim, visto que os sujeitos apresentam apenas uma explicação descritiva ou legalista, não conseguindo estabelecer algum tipo de dedução. Como exemplo, verifica-se que, em S30-6, quando o sujeito é questionado sobre a razão da redução do brilho da lâmpada ele demonstra ter tomado consciência da possibilidade de existir um limite de corrente na pilha e elabora a seguinte hipótese: “*Talvez porque a fonte não forneça esses 750mA*”.

Percebe-se que os argumentos de limitação de corrente apresentados nesse nível ainda são muito superficiais, não demonstrando estabilidade, convicção e uma compreensão do fenômeno que possa remeter às suas causas originais. Assim, esses argumentos não respondem, por exemplo, às seguintes questões elementares: por que a corrente da bateria é limitada? O que faz com que a bateria possua uma capacidade limitada de fornecer corrente? Por que quando o chuveiro é ligado a corrente na lâmpada diminui, em vez de continuar a mesma e ir para o chuveiro somente a diferença, ou seja, o que resta para chegar ao limite?

Do mesmo modo, a noção de queda de tensão parece também se apresentar como uma pseudonecessidade, pois os argumentos apresentados pelos sujeitos são descritivos e não conseguem ainda explicar a origem dessa queda de tensão.

Neste sentido, em S31-15, quando se questiona o sujeito se não poderia ter alguma coisa que se pudesse fazer para obter mais alguma informação do circuito, o sujeito apresenta a hipótese de que possa haver uma queda de tensão na pilha que cause a redução do brilho da lâmpada: *“Eu acho que posso medir a variação da fonte com o chuveiro ligado e com o chuveiro desligado, porque a fonte com o chuveiro ligado é uma, com o chuveiro desligado ela pode ser outra. Por quê? Porque há consumo, o grande consumo do chuveiro pode representar uma queda na fonte”*.

Esses argumentos apresentam evidências de que os sujeitos conseguem estabelecer relações entre essa queda de tensão e a redução do brilho da lâmpada, tal como em S34-15, quando o sujeito demonstra ter tomado consciência dessas relações: *“É por causa da tensão que aqui quando tu ligas a lâmpada e quando tu divides essa fonte com a lâmpada e com o resistor, a (tensão) da lâmpada baixa”*.

Portanto, este nível constitui-se de explicações que se baseiam, quase que predominantemente, em uma constatação empírica do fenômeno da resistência interna, mas que demonstram ter evoluído do nível das Pré-noções para o nível dos Pré-conceitos ou das Noções Subjacentes ou Preliminares ao fenômeno.

Esses Pré-conceitos ou noções são subjacentes, pois constituem um patamar necessário ao desenvolvimento da compreensão, entretanto, ainda são noções preliminares, visto que são construídas a partir da perspectiva de uma pseudonecessidade que provém, em parte, da aceitação de que aquilo que existe deve ser necessariamente assim. A compreensão, ao contrário, provém de uma construção de esquemas conceituais que explicam o fenômeno da redução do brilho da lâmpada mediante o uso do modelo científico da resistência interna da pilha, o que implica numa conceituação.

Assim, acredita-se que o acesso ao desenvolvimento dessas noções dar-se-á por: i) em primeiro lugar, uma tomada de consciência de que o argumento da divisão de corrente, por si só, não suporta explicar a redução do brilho da lâmpada; ii) em segundo lugar, uma constatação de que ocorreu uma queda de tensão na pilha; iii) em terceiro lugar, o conflito cognitivo originado pelo fato de que o argumento da divisão de corrente não mais explica a redução do brilho da lâmpada e que ainda não existem esquemas conceituais desenvolvidos para explicar a queda de tensão na pilha; iv) em quarto lugar, a formação da hipótese de que essa queda de tensão da pilha seja a responsável pela redução do brilho da lâmpada; v) em quinto lugar, a tomada de consciência conceituada de que a queda de tensão na pilha produz a redução do brilho da lâmpada.

Entretanto, como nesse nível ainda não há a compreensão das causas dessa queda de tensão e desse limite de corrente, defende-se que as argumentações do sujeito ainda estejam relacionadas a uma noção subjacente e preliminar à explicação do fenômeno. Como exemplo, pode-se constatar em S24-23, quando questiona-se o sujeito se ele acha que a diferença entre a tensão medida na pilha com o chuveiro e a tensão medida na pilha sem o chuveiro, no caso 2,83V, esteja sobre alguma resistência interna, conforme um suposto colega seu havia dito, S24 afirma que: *“Eu não acho que fique na resistência... Porque essa parte aqui já é a fonte, dentro da fonte tem resistência interna, aqui dentro não vai interferir no que está acontecendo aqui fora. O que tem aqui (nos terminais da pilha), esses 2,83V, é depois de ter passado pela resistência interna”*.

Percebe-se que o sujeito desenvolve a noção conceitual de queda de tensão, mas ainda não considera a resistência interna, e, assim, não consegue estabelecer um todo fechado e coerente, que corresponda ao modelo explicativo ou, em outras palavras, ao esquema conceitual da resistência interna, característica relativa ao Nível da Compreensão (Nível 3).

Nesse contexto, para proceder a análise, a partir desse nível, utilizar-se-á, no sentido piagetiano, o termo “esquema” relacionando-o com “as formas de atividades cognitivas mentais” (MONTANGERO; MAURICE-NAVILLE, 1998, p. 168). Mais especificamente, nesse patamar, utilizar-se-á o termo pensamento pré-conceitual como aquele que se refere à “raciocínios de aparência operatória, mas ligados a uma configuração perceptiva dada”, tal como, em S23-15, quando, até então, o sujeito vinha afirmando que o circuito estava conectado em paralelo e, por isso, a corrente se dividia, mas agora, ao constatar que é a tensão que diminui, o sujeito demonstra adaptar o seu argumento à essa nova configuração perceptiva: *“Porque agora eu acho que está em série”*. Constata-se, aqui, que o sujeito demonstra haver negligenciado o observável de que havia montado em paralelo, e, por isso, apresenta uma instabilidade na formação da compreensão conceitual.

Assim, em virtude dessa ligação à percepção, supõe-se que o pensamento do sujeito permaneça muito vinculado ao concreto e, por isso, ainda nesse nível, “a imagem do esquema é necessária à existência do esquema” (MONTANGERO; MAURICE-NAVILLE, 1998, p. 168), como constatado, por exemplo, em S33-12, quando se pergunta ao sujeito o que faz o brilho da lâmpada diminuir ele afirma: *“Posso desenhar o esquemático? Assim eu consigo pensar melhor”*, ou, em S23-21, quando o sujeito, ao ser questionado sobre os motivos da queda de tensão que ele havia constatado, ele hesita e solicita retornar ao observável concreto: *“Posso medir de novo só a lâmpada e a fonte?”*, ou, em S32-7, quando solicita-se ao sujeito

que explique porque o brilho da lâmpada diminuiu e ele solicita utilizar um meio concreto: “*Posso escrever no papel?*”.

Esse pensamento concreto demonstra ainda se caracterizar por pré-conceitos que procedem, então, “por assimilação direta, sem identidades nem generalidades verdadeiras, por “participação” pré-lógica e não por operações” (PIAGET, 1990, p. 291). A ele atribui-se a “ausência de inclusão num todo, e identificação direta dos elementos parciais entre si, sem mediação desse todo” (PIAGET, 1990, p. 290). Como exemplo, pode-se citar o sujeito S32, em S32-22, quando, ao ser inquirido se acreditava que esse argumento da resistência interna seria a explicação para a redução do brilho da lâmpada, o sujeito responde: “*Parece que não, porque se tivesse uma resistência, a resistência seria sempre a mesma. Se tem uma resistência ela é sempre a mesma*”.

Observa-se que o argumento de que se houvesse uma resistência ela teria que ter sempre o mesmo valor parece corresponder a um pré-conceito enquanto uma assimilação sem identidade verdadeira. Assim, se esse argumento incluísse essa resistência num todo em que se constituem os diversos tipos de resistências e suas propriedades físicas, ele poderia assimilar, com menor deformação, sua verdadeira identidade. Nesse caso, seria possível, então, deduzir de forma construtiva ou explicativa (PIAGET, 2007, p. 99) que nem sempre a resistência mantém o seu valor, mas que seu valor pode se alterar em virtude da temperatura, luminosidade, pressão, entre outros fenômenos físicos.

Verifica-se também que os argumentos desse Nível 2 não demonstram conseguir estabelecer relações mais gerais entre o fenômeno e as grandezas elétricas envolvidas, permanecendo restritos às relações somente entre a parte e o todo. Como exemplo, em S34-10, o sujeito constata que a corrente na lâmpada não muda de valor quando o resistor do chuveiro é ligado e, então, fica sem imaginar o que poderia causar a redução do brilho da lâmpada. A partir disso, o sujeito se questiona: “*Se não é corrente que outra coisa poderia ser?*”. Parece aqui que os argumentos do sujeito demonstram que o seu pensamento ainda não é capaz de estabelecer relações mais gerais entre as totalidades, ficando restrito apenas às relações entre a parte (corrente) e o todo (circuito pilha-lâmpada-chuveiro).

Com relação à atitude, as respostas desse nível parecem ter um certo grau de iniciativa, mas ainda ocorrem muito mais em função de terem sido desencadeadas como forma de responder a uma pergunta do entrevistador. Como, por exemplo, em S30-7, quando se questiona o sujeito: “*Tu terias alguma forma de provar isso? Talvez se medisse a tensão, tentar ver o circuito e medir a corrente*”.

Neste nível, porém, a constatação dos observáveis se amplia para além do objeto material concreto, alcançando também as ações do sujeito. Tal fato pode-se observar quando é apresentado ao sujeito, em S32-26, o argumento do limite de corrente, e ele afirma: *“Por causa da corrente eu acho que não poderia, porque a gente fez os cálculos aqui e a corrente ela continua a mesma”*, demonstrando a constatação de suas ações de calcular a corrente.

Esse mesmo efeito também pode ser observado em S35-10, quando, ainda nos primeiros passos da entrevista, é solicitado ao sujeito que faça um desenho do circuito que ele havia montado, colocando os valores das correntes em cada componente, e ele afirma: *“Agora eu me quebrei aqui”*. Ao fazer os cálculos das correntes e constatar que a corrente que circula na lâmpada com o chuveiro desligado tem o mesmo valor da corrente que circula na lâmpada com o chuveiro ligado (desconsiderando-se a resistência interna), o sujeito demonstra, de modo espontâneo, fazer uma reflexão sobre o seu próprio pensamento e, assim, ter tomado consciência do seu erro.

Verifica-se, na sequência, que o sujeito demonstra ter constatado os observáveis das correntes através de suas ações e estes observáveis se colocam em contradição com a sua crença da divisão de corrente, visto que a corrente continua com o mesmo valor: *“O que houve? Calculando assim deu a mesma corrente nos dois casos pra lâmpada”*.

Interessante verificar que, logo a seguir, o sujeito reage a essa contradição elaborando uma nova hipótese de solução, baseada agora em uma concepção do limite de corrente, relativa a esse nível (2): *“Mas eu acho que isso ocorre porque a fonte não consegue fornecer tanta corrente, por isso que ela diminui um pouco”*.

Entretanto, o sujeito demonstrou estar ainda um pouco centrado nos argumentos relativos à corrente, talvez por considerar que, como os componentes estavam ligados em paralelo, a tensão seria a mesma nos dois e que essa tensão não poderia variar porque a pilha deveria ter uma tensão constante.

Neste patamar, os argumentos parecem considerar ou criar novas hipóteses ou possibilidades, ainda que restritas, como, por exemplo, em S32-12, quando o sujeito foi questionado sobre o porquê de o brilho da lâmpada diminuir, ele responde que: *“Poderia ser a temperatura da lâmpada, ou não? Ela poderia diminuir ou aumentar a resistência, nesse caso diminuir ou aumentar a intensidade da luz”*.

Observa-se que o sujeito cria uma hipótese restrita baseado em seus esquemas conceituais de que a temperatura afeta o valor da resistência, o que faz a corrente variar, e, assim, alterar o brilho da lâmpada. Mas sua hipótese é restrita porque não considera que, no caso da lâmpada, o seu filamento é constituído por um material que não é tão sensível à

temperatura em condições estáveis de funcionamento. Se não fosse assim, quando a lâmpada esquentasse, a sua resistência aumentaria (por exemplo), a sua corrente diminuiria e o brilho também; então, logo a seguir, quando a lâmpada resfriasse, sua resistência diminuiria e a corrente e o brilho aumentariam novamente, e assim o ciclo se repetiria indefinidamente entre aumentos e reduções no brilho da lâmpada, isto é, ao invés de lâmpada, seria um pisca-pisca. Caso contrário, se quando a lâmpada esquentasse a sua resistência diminuísse, a corrente aumentaria, o que faria a lâmpada aquecer mais ainda e, assim, o ciclo se repetiria até que a lâmpada queimasse por excesso de calor.

Outra característica ainda presente nesse nível refere-se a certa instabilidade inicial na constituição das noções conceituais, que parece estar um pouco relacionada a um esquema conceitual em desenvolvimento, isto é, a esquemas conceituais ainda não consolidados. Há casos, como por exemplo, em S23-22, nos quais, quando são apresentados os argumentos dos colegas sobre as possibilidades de causas da redução do brilho da lâmpada, o sujeito demonstra não conseguir formar uma opinião: *“Pode ser. Quer dizer, acho que também não”*.

De outro modo, pode-se constatar uma evolução na construção das relações entre a variação da tensão da fonte e a variação da corrente, e acredita-se que essas relações podem se constituir em condições preliminares e intermediárias para a construção da compreensão conceitual da resistência interna da pilha (Nível 3). Nesse caso, cita-se o exemplo de S31-17: *“A gente conclui então que, pelo menos eu vejo que, a variação na iluminação se deve à variação da tensão da fonte e não a variação da corrente como eu disse anteriormente. Só que, com a variação dessa tensão a corrente vai variar também. Então não está totalmente errada essa teoria, mas também não foi desenvolvida 100% correta”*.

Verifica-se, assim, nessa passagem, uma tomada de consciência da queda de tensão e da limitação de corrente, e um estabelecimento de relações entre essas duas, as quais caracterizam, então, a criação de condições para uma transição para o Nível da Compreensão (Nível 3). Interessante também observar a autorreflexão do sujeito, que representa uma das características do pensamento formal, segundo a qual ele reconhece que a sua hipótese não estava completamente correta, mas que também não estava errada.

A transição para o Nível da Compreensão inicia-se, então, quando os sujeitos começam a estabelecer relações entre a variação da tensão e a variação da corrente. Assim, eles podem passar a cogitar a possibilidade de que exista algo em série com a pilha que provoque essa limitação de corrente e essa queda de tensão e que esse algo possa ser a resistência interna.

Entretanto, essa transição parece iniciar-se sem que ainda tenha ocorrido a tomada de consciência conceituada do fenômeno da resistência interna, embora existam evidências de que os sujeitos já operem implicitamente com essa noção, caracterizando uma correspondência com o que Piaget denomina como êxito prático.

Como exemplo, pode-se ver em S30-11, quando o sujeito é questionado sobre a resistência das pilhas grandes que ele faz alguns cálculos e os descreve sem tomar consciência de que havia feito o cálculo da resistência interna das pilhas: *“Porque eu fiz aqui essa tensão (o cálculo), que seria a tensão que eu teria em cima do resistor (o sujeito mostra no desenho a resistência interna da pilha). Queda de tensão? É. A queda de tensão em cima do resistor. E botei que por ele passava 750mA. Aí as resistências estariam mais ou menos dentro. Aqui deu 1Ω e alguma coisa, mas aqui deu um pouquinho maior”*.

A prova disso é que, em S30-12, quando é perguntado ao sujeito se ele havia calculado a resistência interna, ele diz: *“Eu acredito que não seja a resistência interna. Que cálculo é esse que tu fizeste? Eu só fiz uma relação assim”*. Constata-se, então, a existência de uma instabilidade conceitual própria do início da formação da conceituação, e dos esquemas conceituais, da resistência interna da pilha.

Portanto, pode-se inferir que o desenvolvimento da noção da resistência interna da pilha, mesmo que ainda de forma implícita, parece indicar e explicar o início da formação da conceituação desse fenômeno, a qual se expressa através da argumentação baseada no seu modelo científico, característica essa presente somente no Nível da Compreensão (Nível 3).

Assim, verificou-se pelas entrevistas que, embora sete sujeitos tenham apresentado explicações relativas a esse Nível 2 do Pré-conceito ou da Noção Conceitual Subjacente ou Preliminar do fenômeno da redução do brilho da lâmpada, no momento em que executaram o experimento, somente três sujeitos demonstraram permanecer nesse nível, visto que não apresentaram evidências de conseguir evoluir as suas argumentações para o Nível 3, da Compreensão Conceitual.

5.3 NÍVEL 3, SUBNÍVEL 3A: COMPREENSÃO CONCEITUAL OPERATÓRIA

A característica marcante a ser construída neste subnível 3A é que os sujeitos passam a demonstrar ter tomado consciência de que a queda de tensão, a limitação de corrente e a

consequente diminuição do brilho da lâmpada podem ser explicadas por um modelo científico constituído por uma resistência interna na pilha.

No entanto, neste subnível, essas tomadas de consciência e a sua correspondente conceituação ainda são parciais, pois se referem somente a um dos dois observáveis: ou consideram as quedas de tensões e não consideram o fato de que essa resistência interna irá produzir uma limitação na corrente, ou vice-versa.

Cita-se o exemplo de S32-28, quando é solicitado ao sujeito que faça um desenho e coloque os valores das tensões e ele alega que: *“Era pra chegar 6V aqui nesse ponto. Contudo, pelos testes a gente viu que não chega. É que aqui não teria como chegar a 6V por causa dessa resistência interna (ele desenha uma resistência em série com a pilha), então isso acaba meio que afirmando o que a gente tinha feito ali, olhando assim”*. Verifica-se que o sujeito demonstra, então, uma tomada de consciência parcial da existência da resistência interna e uma conceituação, também parcial, de sua influência no circuito.

Observou-se, ainda, certas instabilidades nas argumentações deste nível, as quais acredita-se serem resultado dessas tomadas de consciência ainda incompletas. Cita-se como exemplo a instabilidade apresentada na argumentação de S26-12 sobre o que acontece com aquela queda de tensão quando o chuveiro é desligado: *“E quando tu desligas o chuveiro? O que acontece com a pilha? Ela recupera. Na verdade, eu não sei pra onde vai. Dissipa, eu acho que não volta”*. Nesta situação particular, constata-se que quando o sujeito é questionado sobre o que acontece com a queda de tensão na pilha ao se desligar o chuveiro, ele demonstra não ter certeza, primeiro afirma que a tensão da pilha volta ao normal, depois ele diz que ela dissipa. Acredita-se que essa instabilidade na argumentação se deve a uma compreensão parcial do fenômeno em virtude de as tomadas de consciência ainda não alcançarem a conceituação, e, possivelmente, em função de os esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares ainda não estarem suficientemente consolidados.

Com base nas argumentações, pode-se inferir que, muito provavelmente, para que essa tomada de consciência seja conceituada, são necessários os seguintes quesitos: i) uma flexibilização e descentração do ponto de vista em relação a outras possibilidades, como, por exemplo, em S26-3, quando o sujeito é questionado sobre a possibilidade de simular o fenômeno da redução do brilho da lâmpada afirmando: *“Acho que dá pra tentar”*; ii) a capacidade de estabelecer relações mais gerais, como evidenciada em S26-4, quando o sujeito responde sobre como faria a simulação: *“Primeiro deixar a lâmpada ligada e depois colocar uma resistência”*; iii) uma atitude mais analítica e investigativa do sujeito, como demonstrada em S26-8: *“Eu fiz o paralelo, aí descobri a corrente total, aí eu sei que aqui (na lâmpada) tem*

250mA e esse aqui (o chuveiro) vai ter os 500mA que faltam para chegar”; iv) uma construção, já consolidada, dos esquemas dos circuitos elétricos lineares, como demonstrada em S26-11, quando o sujeito explica como faria para identificar os componentes que estão escondidos na caixa lacrada: “Se for um diodo dá para testar e ver se os dois terminais têm a tensão. Se fosse um capacitor eu ligaria a fonte, tirava ela e via se a tensão ia cair exatamente na hora ou demoraria um pouco”.

No entanto, neste nível, verifica-se que os esquemas conceituais ainda não alcançaram o nível formal, pois, para explicar a atuação dessa resistência interna, os argumentos ainda se limitam somente aos esquemas conceituais operatórios baseados em cálculos. De fato, as tomadas de consciência ainda não atingiram um nível superior, dificultando a formação de uma conceituação mais completa e ainda não totalmente generalizada. Como exemplo, cita-se a passagem S23-24. Para o caso da fonte de tensão ideal de 6V, S23 afirma: “Eu tenho 0,5A de corrente (6V/12Ω) aqui descendo pelo resistor (do chuveiro) e 0,25A (6V/24Ω) passando pelo lado (na lâmpada)”. No caso da fonte de tensão real (pilha), S23 explica a redução do brilho da lâmpada através de cálculos: “Aí 3V (tensão da pilha com o resistor do chuveiro e a lâmpada ligados) dividido por 12Ω (resistência do chuveiro), passa uma corrente de 0,25A. A corrente diminui pela metade. Acho que é por isso que diminui o brilho. Porque a corrente diminui e aí o brilho diminui também. E aqui (na lâmpada) também diminui a corrente que passava. Se antes passava 0,25A agora passa 0,125A (3V/24Ω)”. Verifica-se, aqui, que o argumento do sujeito atingiu um nível de conceituação bem próximo da conceituação científica, entretanto, ainda não tão geral, pois ainda necessita recorrer aos cálculos para explicar o fenômeno da redução do brilho da lâmpada causado pela atuação da resistência interna e só leva em conta uma variável de cada vez: ou a redução na corrente para explicar a diminuição do brilho, ou a queda de tensão para calcular a redução na corrente.

Assim, nesse patamar, encontrar-se-á os argumentos que demonstram um início de compreensão, a qual foi denominada de compreensão operatória, estando, então, em um nível intermediário (subnível 3A) entre o patamar da Noção Conceitual (nível 2) e o da Compreensão Formal (subnível 3B). Como exemplo, apresenta-se a passagem S30-8, na qual o sujeito é questionado sobre a função da resistência e, então, pode-se verificar que ele demonstra estar ainda em processo de construção da tomada de consciência e dos esquemas conceituais sobre a resistência interna da pilha: “Essa resistência. Deixa eu ver. No momento que eu ligar o circuito, que eu fechar o circuito, eu vou estar medindo a tensão da fonte menos a queda sobre esse resistor (a resistência interna da pilha)”.

Supõe-se que essa evolução da compreensão ocorreu, muito provavelmente, pelo fato de os sujeitos terem enfrentado desafios que proporcionaram, ao mesmo tempo: i) “um sentimento de embaraço bastante profundo que o faz acreditar na existência de uma contradição ou de um conflito” entre os “dados de observação e suas crenças espontâneas, verificadas em tantos outros contextos mais simples e inteligíveis” (PIAGET, 1977, p. 150); ii) coordenar “suas ações sob as espécies de estruturas operatórias cada vez mais abrangentes” (PIAGET, 2007, p. 102); iii) descentrar o seu ponto de vista em relação às suas perspectivas iniciais; iv) considerar novas possibilidades; v) constatar novos observáveis, devido à ampliação do seu ponto de vista e à abertura para novas possibilidades; vi) desenvolver uma atitude mais espontâneo-investigativa; vii) estabelecer relações mais amplas e gerais; viii) e, finalmente, tomar consciência de que poderia haver uma resistência em série com o sistema lâmpada-chuveiro.

Como resultado e, ao mesmo tempo, como uma demonstração dessa evolução, ao serem questionados se teriam como provar os seus argumentos da resistência interna, os sujeitos constroem explicações baseadas em esquemas operatórios relativos aos conceitos dos circuitos elétricos lineares, demonstráveis através de cálculos, as quais já evidenciam estar um pouco mais próximas do que se pode denominar de explicação conceituada ou explicação científica, características do próximo nível (3B).

Assim, a compreensão, a partir desse nível, poderá então ocorrer devido ao desenvolvimento dos esquemas conceituais (discutidos mais adiante), graças ao início da dedução, a qual, segundo Battro (1978, p. 73), “começa quando a construção efetua-se no interior de “agrupamentos” ou de “grupos” completos”, podendo, nesse caso, ser de dois tipos: as deduções operatórias e as deduções causais.

Esse patamar consiste também de deduções operatórias, no mesmo sentido definido por Piaget (1977, p. 177), que as considera como deduções extraídas de estruturas operatórias e que procedem da coordenação geral das ações, se situando em níveis superiores que comportam um complexo jogo de abstrações refletidoras. Esse autor ainda considera que “a aplicação dessas estruturas já é de natureza essencialmente dedutiva (...), ao passo que as antecipações surgidas gradativamente das ações permanecem, primeiramente, indutivas, porque simplesmente fundadas em constatações anteriores”.

Assim, a dedução operatória se restringe a operações que se valem de exemplos numéricos, um pouco ainda relacionados ao concreto, e que, por isso mesmo, é denominada de dedução operatória numérica, ou simplesmente dedução numérica. Assim, como exemplo desse tipo de dedução, apresenta-se o relato do sujeito S35, em S35-17, ao explicar a

influência da resistência interna na queda de tensão da pilha: *“Vamos considerar 1Ω essa resistência interna aqui. No primeiro caso tu vais ter um divisor de tensão ali, só que a tensão maior vai estar sobre a lâmpada, no caso. Aqui vai ter 240mA de corrente e daí $5,76\text{V}$ aqui. No segundo caso, como o resistor está aqui em paralelo ele vai diminuir a resistência total. Então o paralelo desse que eu fiz antes é 8Ω , a resistência equivalente. Daí no caso tu vais ter um divisor de tensão com o resistor de 1Ω . Deixa eu fazer um circuito aqui do lado. 1Ω e 8Ω , que seria: $5,33\text{V}$ aqui e $0,67\text{V}$ aqui. Isso diminui a tensão do paralelo”*.

Já a dedução causal, segundo Battro (1978, p. 73), significa “fundir a modificação física com a transformação operatória, por subordinação do real ao possível, e conferir às generalizações das relações legais um caráter de necessidade, ou de probabilidade, em função da própria subordinação”, tal como fez S26, em S26-17, ao ser questionado sobre o que pensava que iria acontecer quando se ligasse o resistor do chuveiro às pilhas grandes, com a lâmpada já ligada anteriormente: *“Eu acho que não iria interferir tanto, porque a corrente delas é mais alta. E aquela já interfere mais porque a corrente que ela tem é mais próxima daquela que tem na lâmpada”*.

Desse modo, as estruturas operatórias necessárias para alcançar essas deduções são o que denominar-se-á de “esquemas conceituais”, no mesmo sentido utilizado por Piaget (1990, p. 280). Em decorrência, a expressão “esquemas conceituais de relações a nível operatório”, ou simplesmente “esquemas operatórios”, será utilizada em correspondência parcial ao que Piaget (1990, p. 310) denomina de “esquemas a um só tempo gerais e abstratos, isto é, de conceitos que assumem a forma de classes ou de relações”, mas, nesse caso, ainda um pouco vinculados ao concreto, tal como com o sujeito S26, em S26-13, ao explicar que a resistência interna da pilha irá limitar a corrente: *“Eu coloquei um de 10Ω e aqui eu sei que tem 8Ω . Os 6V dividido pelos 18Ω , dá $0,33\text{A}$ ”*.

As respostas dos sujeitos nesse subnível evidenciam um comportamento caracterizado por atitudes mais investigativas e espontâneas, voltadas à busca de novos observáveis, tanto aqueles relativos aos objetos materiais como os relacionados com as ações e operações do próprio sujeito. Acredita-se que isso poderá favorecer a coordenação de possibilidades, o estabelecimento de relações e de hipóteses mais gerais, embora ainda próximas dos observáveis concretos.

Essas atitudes que demonstram ter um caráter mais espontâneo e investigativo incluem os casos em que o sujeito demonstra um grau maior de iniciativa, como, por exemplo, em S23-19: *“O que tu irias medir ali? Querias ver se tem alguma resistência. Se perdeu alguma tensão no caminho até chegar lá. Como se tivesse uma resistência. Alguma coisa que impeça*

que saia tudo”. Observa-se aí que o sujeito tomou a iniciativa de medir a resistência da pilha antes mesmo de o entrevistador perguntar qualquer coisa.

Também se observa, nessa passagem, que o sujeito S23, naquele momento de sua trajetória, desenvolve uma hipótese mais geral de que possa haver uma resistência interna na pilha e que essa resistência possa ser a responsável por ocasionar a queda de tensão na pilha, então, ele toma a decisão de tentar investigar essa hipótese.

Acredita-se que essa espontaneidade e essa iniciativa possam auxiliar o sujeito a descentrar suas perspectivas e continuar desenvolvendo seu raciocínio na direção da construção dos conhecimentos científicos e dos esquemas conceituais necessários para a compreensão formal do fenômeno da resistência interna das pilhas (Nível 3B).

Verifica-se também, neste patamar, que a constatação de observáveis amplia-se para além do material e das ações, alcançando também as operações, como descrito em S30-15, quando o sujeito explica, cientificamente, a atuação da resistência interna, demonstrando agora ter constatado todos os observáveis e ter tomado consciência do fenômeno da resistência interna: *“Agora eu consegui pensar direitinho, consegui entender o porquê de ela baixar a luminosidade. Por exemplo, no primeiro caso ali (só com a pilha) eu tenho 5,58V. Depois (com a lâmpada ligada na pilha) seria um pouco menos (5,21V), porque eu fechei o circuito, devido a essa queda dessa resistência (a resistência interna da pilha)”*.

Supõe-se que essas constatações possam favorecer a construção das coordenações das operações, que podem se constituir em um fator central para o desenvolvimento dos processos cognitivos. Entretanto, considera-se que para que esses observáveis possam ser constatados seja também necessário um certo nível de descentração do ponto de vista do sujeito e o desenvolvimento de estruturas, mediante a interação sujeito-objeto, caracterizada por um movimento dialético entre periferia e centro.

Em outras palavras, esse movimento é que irá produzir uma descentração dos pontos de vista do sujeito em direção a outras perspectivas. Assim, a descentração, enquanto uma capacidade de coordenar ações sob estruturas operatórias cada vez mais abrangentes (PIAGET, 2007, p. 102), influi em todas as características das categorias e, da mesma forma, é influenciada por elas: ela amplia o leque de observáveis, a elaboração de novas hipóteses, o estabelecimento de novas relações e possibilita o estabelecimento de novas tomadas de consciência mais amplas e gerais, apresentando ao sujeito outras formas de conceituação e de explicação do fenômeno em busca de lógica e coerência.

Quando o sujeito é questionado se tem como provar o seu argumento, ou quando lhe é apresentado um contra-argumento, ele terá que buscar informações que justifiquem as suas

afirmações e, assim, a necessidade de coerência, de certa forma, acaba por levá-lo a ampliar as suas perspectivas. Ao pensar em como poderia comprovar o seu raciocínio, o sujeito elabora hipóteses e, mediante o uso de algum critério lógico de seleção, decide, por exemplo, se será melhor medir a tensão, analisar o circuito, fazer cálculos ou medir a corrente, etc. Todo esse movimento pode, então, possibilitar o desenvolvimento de estruturas que favoreçam a construção de uma conceituação mais próxima do real e do conceito científico, bem como a compreensão do fenômeno.

Por fim, as relações desse nível também se estabelecem de forma mais geral, num todo completo e coerente, embora ainda tendo como referência o concreto, isto é, através de exemplos numéricos, etc. Como exemplo, verifica-se em S35-26 que o sujeito demonstra estabelecer relações entre as grandezas elétricas usando a Lei de Ohm: “Como tu farias para calcular esse resistor (a resistência interna)? *Essa aqui é a tensão na fonte. Se eu tenho 5,5V na fonte e eu tenho 5,19V na lâmpada significa que aqui tem alguma coisa, alguma coisa roubando o que sobrou, essa diferença. Então, no caso, como eu sei a corrente do circuito, eu posso ou medir essa corrente ou calcular através da Lei de Ohm. A tensão na lâmpada dividida pela resistência dela e daí eu faria assim, essa tensão, menos a tensão da lâmpada dividida pela corrente*”. Observa-se que o sujeito descreve o procedimento de cálculo da resistência interna, manipulando, em nível operatório, as relações entre as grandezas elétricas.

Pode-se supor que, para fazer essa elaboração, o sujeito necessita, antes, ter construído os esquemas conceituais operatórios relativos à Lei de Ohm, isto é, ele deve poder estabelecer todas as relações possíveis entre as grandezas elétricas tensão, corrente e resistência. Por outro lado, como visto anteriormente, os argumentos desse nível ainda não apresentam algumas aquisições, a destacar a ausência de tomadas de consciência mais gerais, a predominância da instabilidade na argumentação e a conceituação ainda não completa ou formal.

Verifica-se, então, que esse conjunto de fatores caracteriza, nesse nível, a dedução operatória numérica e os esquemas conceituais de relações em nível operatório, os quais, por sua vez, poderão servir de base para o desenvolvimento da compreensão conceitual formal, característica do subnível 3B.

Assim, constatou-se que, naquele momento da entrevista, quatro sujeitos apresentaram argumentos que demonstraram que a sua compreensão havia alcançado esse Nível 3A, no entanto, somente um manteve suas argumentações nesse nível, visto que elas permaneceram limitadas aos exemplos numéricos, sem apresentar evidências de recorrerem ao uso dos conceitos científicos e ao uso do modelo da resistência interna da pilha para explicarem o fenômeno da redução do brilho da lâmpada.

5.4 NÍVEL 3, SUBNÍVEL 3B: COMPREENSÃO CONCEITUAL FORMAL

As argumentações constantes no subnível 3B apresentam as mesmas características daquelas do subnível 3A, mas num sentido mais amplo e mais distante do concreto, na direção do virtual, além de se constituir de outras operações formais mais gerais e complexas, tais como as analogias tomadas naquele sentido a que Battro (1978, p. 30) se refere como as colocações que “obedecem às mesmas regras operatórias e se permitem efetuar uma correspondência biunívoca entre suas operações respectivas”, ou ainda, segundo Battro (1978, p. 235), no mesmo sentido que as transposições, que ocorrem “quando o transporte transfere, não somente a dimensão (ou a direção) de um elemento, mas um conjunto de relações”.

Essas respostas evidenciam um comportamento caracterizado por atitudes mais investigativas e espontâneas, voltadas para a busca de novos observáveis, tanto aqueles relativos aos objetos materiais como os relacionados com as ações e operações do próprio sujeito. Supõe-se que essas atitudes, ao prospectar novas possibilidades, poderão favorecer a formulação de hipóteses mais gerais, novas coordenações e o estabelecimento de relações mais amplas, gerais e virtuais, ou seja, aquelas que são generalizáveis a um nível de representação um pouco mais distante do concreto.

Acredita-se que essas relações mais complexas favoreçam a construção dos esquemas formais, que são as “transformações gerais próprias às estruturas operatório-formais” (MONTANGERO; MAURICE-NAVILLE, 1998, p. 168) e que não necessitam de exemplos numéricos, pois são generalizáveis a ponto de empregar uma linguagem simbólica (a expressão literal, como se diz em Engenharia) e conceitos, em um nível de representação mais distante do concreto e mais relacionado com o virtual. Advém, com isso, o conseqüente desenvolvimento da dedução operatória literal, enquanto uma dedução operatória que se amplia e se consolida na direção de operações que se valem desses esquemas formais, os quais estão todos implicados na conseqüente compreensão formal dos fenômenos.

Neste sentido, pode-se constatar esse desenvolvimento quando S30, em S30-13, utiliza a Lei de Ohm para explicar a relação entre tensão e corrente no circuito do experimento: *“Poderia simplesmente pensar que V dividido por I é igual a R , então V é diretamente proporcional à resistência, então como aqui a tensão é maior a resistência também é maior”*. Neste caso, o sujeito apresenta claramente uma explicação relativa ao subnível de compreensão formal (subnível 3B), demonstrando conseguir estabelecer relações virtuais e já

ter consolidado os esquemas conceituais formais, bem como a compreensão formal do fenômeno da resistência interna da pilha.

De modo geral, esse patamar diz respeito a argumentos que envolvem uma compreensão global e consolidada do fenômeno no nível formal, bem como de suas causas e consequências, e que não incorrem em explicações parciais ou que contenham erros e desvios dos conceitos científicos. Assim, para verificar a estabilidade dessas explicações, solicitou-se aos sujeitos que explicassem como fariam para determinar o valor dessa resistência interna. Os resultados obtidos dessa verificação apontam para a estabilidade e consolidação da compreensão do fenômeno da resistência interna no nível formal, visto que os sujeitos apresentam explicações detalhadas de como calcular essa resistência, tal como em S26-15, que afirmou: “*Eu medi e vi que tinha 4,16V aqui, que seria a tensão dos dois (lâmpada em paralelo com chuveiro: $R_t = 24\Omega // 12\Omega = 8\Omega$). Então eu ia fazer 4,16V dividido pelos dois (para calcular a corrente: $I = 4,16V / 8\Omega = 520mA$). 520mA seria a corrente aqui (na resistência da pilha) e a tensão (na resistência da pilha) seria os 6V menos os 4,16V, que daria 1,84V*”. A seguir, o sujeito calcula $R_{int} = 1,84V / 520mA$, e responde: “3,5 Ω ”.

Por esse argumento, constata-se uma compreensão geral e consolidada do fenômeno da resistência interna de tal modo que o sujeito descreve passo a passo os cálculos que deve executar para obter o valor da resistência interna da pilha.

Outra característica já observada nesse nível é que os argumentos, baseados em uma conceitualização científica do fenômeno, são defendidos e utilizados nas mais diversas situações, tal como em S30-16, quando perguntou-se ao sujeito como ele poderia simular o fenômeno da redução do brilho das lâmpadas com a fonte de tensão regulada (aquela em que a tensão praticamente permanece constante) e o sujeito afirmou: “*Eu colocaria uma outra resistência em série, para simular a resistência da fonte e aí eu colocaria os dois em paralelo (a lâmpada e o chuveiro em paralelo entre si)*”, o que parece demonstrar a consolidação dos esquemas conceituais relativos à resistência interna bem como o alcance de uma compreensão formal, correspondentes ao Nível 3B.

Outra operação formal que se destaca nesse patamar são as analogias, tomadas no mesmo sentido que Battro (1978, p. 30), ao considerar que classificações, partições, séries ou colocações são análogas, se “obedecem às mesmas regras operatórias e se permitem, portanto, efetuar uma correspondência biunívoca entre suas operações respectivas, ainda que as noções agrupadas sejam diferentes”. Nesse mesmo sentido, ainda segundo Battro (1978, p. 235), as transposições ocorrem “quando o transporte transfere, não somente a dimensão (ou a direção) de um elemento, mas um conjunto de relações”.

Essas operações formais podem ser constatadas em passagens tais como S26-16, quando o sujeito é questionado sobre como ele faria se ele tivesse que simular com as fontes reguladas, e o sujeito afirmou que: “*Colocaria um resistor em série. De qual valor? $3,5\Omega$* ”. O sujeito, sabendo que a fonte regulada, diferentemente da pilha, não apresenta variação na tensão em função do componente que for ligado nos seus terminais, conclui que ela não sofre a ação de uma resistência interna. Logo, para que a fonte regulada possa funcionar de modo idêntico à pilha, ele infere que deverá acrescentar à fonte regulada um resistor em série de mesmo valor que a resistência interna da pilha, e, assim, o sujeito faz a transposição do esquema da pilha para o esquema da fonte regulada.

Finalmente, apesar de os argumentos que chegaram a esse nível não terem considerado essa hipótese da resistência interna desde o início do experimento, constata-se que alcançaram o êxito prático e conceitual na compreensão formal do fenômeno da resistência.

Acredita-se que isto se deve, provavelmente, em primeiro lugar, ao fato de que os sujeitos já tinham consolidado os esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares, da resistência interna e das fontes ideal e real, a ponto de favorecer o desenvolvimento dessa compreensão no nível formal.

Em segundo lugar, supõe-se que durante a execução desse experimento, esses sujeitos tenham conseguido: i) descentrar as suas perspectivas para considerar outras possibilidades e sair do conflito cognitivo, tal como em S35-16, quando o sujeito pondera que: “*Agora tu falaste. Eu tava pensando também. Uma coisa que eu não considerei foi a resistência interna da fonte*”; ii) estabelecer e coordenar relações mais amplas e gerais, tal como em S35-21, quando o sujeito afirma que: “*Isso confirma também a minha primeira hipótese que é do limite da corrente, porque essa resistência interna também influencia na corrente máxima da fonte*”; iii) adotar uma atitude investigativa espontânea, tal como em S35-22, quando o sujeito diz que irá: “*Medir a tensão com a lâmpada (ligada) e depois com a resistência (do chuveiro) em paralelo*”; iv) tomar consciência da possibilidade de existência de uma resistência interna nas pilhas, tal como em S26-14, quando se questiona o sujeito sobre qual das argumentações dos colegas ele acha que melhor explica o fenômeno, e ele responde: “*Acho que é essa da resistência interna da fonte*”.

Analisando-se pormenorizadamente, constata-se que, embora os sujeitos não tenham adotado uma atitude mais investigativa e espontânea desde o início do experimento, essa atitude foi se desenvolvendo ao longo da execução do experimento e, assim, acredita-se que ela tenha contribuído para o desenvolvimento da compreensão conceitual do fenômeno da redução do brilho da lâmpada.

Portanto, infere-se que, para alcançar o nível da compreensão conceitual do fenômeno da redução do brilho da lâmpada com o uso do modelo da resistência interna da pilha, os sujeitos tenham explorado muito mais as suas operações mentais: o pensamento lógico-matemático, o raciocínio hipotético-dedutivo, a capacidade de coordenar relações e hipóteses, e seus esquemas conceituais, do que, propriamente, as suas ações concretas, as quais foram utilizadas, principalmente, nos níveis iniciais do processo de desenvolvimento da compreensão do fenômeno em questão.

Da mesma forma, acredita-se que as sucessivas e muito próximas tomadas de consciência, sobre a não divisão da corrente tal como a concebiam, sobre a queda de tensão, sobre o limite de corrente, depois sobre a relação entre a queda de tensão e o limite de corrente, que resulta na possibilidade de existir uma resistência em série, e, finalmente, sobre o modelo da pilha como uma fonte de tensão com uma resistência interna e sobre o seu funcionamento, muito provavelmente, favoreceram a compreensão das relações implícitas no fenômeno da redução do brilho da lâmpada, bem como a compreensão da validade do modelo científico da resistência interna da pilha.

Assim, verificou-se a existência de diferentes, sucessivos e hierárquicos patamares de conflitos cognitivos, de tomadas de consciência, de conceituações e, conseqüentemente, de compreensão do fenômeno da redução do brilho da lâmpada quando da ligação do chuveiro, em correspondência ao que Piaget (1977, p. 126) constatou sobre o fato de que “a tomada de consciência da ação própria e a aquisição de conhecimento de seus resultados observáveis relativos ao objeto correspondam assim aos níveis de compreensão”.

Portanto, isso leva a inferir sobre a existência de uma psicogênese da construção dos conhecimentos sobre as relações implícitas no fenômeno da redução do brilho da lâmpada, quando da ligação do chuveiro, bem como sobre a compreensão da validade do modelo científico da resistência interna da pilha.

Finalmente, verificou-se que, durante as entrevistas, somente três sujeitos, de um total de dez participantes, apresentaram argumentos que demonstraram que a sua compreensão havia alcançado esse subnível 3B, em virtude de haverem apresentado evidências de terem recorrido ao uso dos conceitos científicos e ao uso do modelo da resistência interna da pilha para explicar o fenômeno da redução do brilho da lâmpada.

6 DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 RELAÇÕES COM OUTROS ESTUDOS

Este capítulo tem por objetivo apresentar relações identificadas entre os resultados das entrevistas desta Tese e outros estudos realizados sobre a “aprendizagem em eletricidade”, em especial, aqueles relatados nos trabalhos citados no capítulo “O Estado da Arte”.

Inicialmente, destaca-se que o experimento no qual os sujeitos foram envolvidos foi elaborado, na sua íntegra, com o objetivo de explicitar os processos de desenvolvimento da compreensão das relações implícitas no fenômeno da resistência interna. Ele constituiu-se de uma etapa inicial na qual o problema foi apresentado aos sujeitos sob a forma de um evento do cotidiano e de diversos questionamentos em que as concepções dos sujeitos foram testadas e postas em oposição a outras, através de uma versão adaptada do método clínico piagetiano. Pode-se verificar que esse procedimento possui certa correspondência com aquele que Shipstone (1988, p. 93) denominou de conflito cognitivo, ao qual ele dividiu em três fases: i) a familiarização, na qual os fenômenos são relacionados com o dia a dia; ii) o desafio, no qual devem se fazer as previsões; iii) a aplicação, quando é buscado o entendimento através do teste de hipóteses, discussões e introdução de analogias.

Analisando-se os trabalhos encontrados no Estado da Arte, o que mais chamou a atenção foi a preocupação dos autores para com a compreensão dos fenômenos por parte dos estudantes. Neste sentido, Pacca *et al* (2003, p. 163) observaram que, mesmo com a disponibilização, em sala de aula, de um contexto de pensamento que evocasse a estrutura do átomo, a liberdade de expressão e a utilização de um experimento, ainda assim, “as representações e explicações para a corrente elétrica não incluíram adequadamente ou claramente esses elementos sugeridos”, o que demonstra que “o conceito de corrente elétrica é, sem dúvida, difícil de conceber e ser relacionado à estrutura atômica dos materiais”. Coelho (2011, p. 120) constatou que a evolução no entendimento dos conceitos de eletricidade não depende somente do engajamento comportamental, mas também do engajamento cognitivo. Silva, Takahashi e Pinto (2012, p. 13) verificaram que, embora houvesse o aprendizado dos conceitos relacionados aos cálculos, o mesmo não ocorreu com os conceitos relacionados às propriedades dos circuitos, pois o entendimento geral foi substituído por procedimentos particulares, que são decorados sem entendimento (SILVA; TAKAHASHI; PINTO, 2012, p.

18). Igualmente, Dorneles (2005, p. 10) afirmou que “mesmo com o uso sistemático do laboratório”, observa-se que “a compreensão dos conceitos físicos básicos não atinge o nível desejado”, o que leva a inferir que a compreensão dos estudantes não depende somente de estratégias pedagógicas. Stetzer *et al.* (2013, p. 141) advertiram que as dificuldades são persistentes visto que as lições, temas e experiências de laboratório não foram suficientes para ajudar os estudantes a entender o circuito fechado. E ainda, Smith e van Kampen (2013, p. 395) comprovaram que uma aula, mesmo seguida por um experimento, pode melhorar a argumentação qualitativa, mas não é suficiente para garantir o entendimento.

Da mesma forma que esses autores, observou-se nas entrevistas que alguns sujeitos, mesmo fazendo todas as atividades do experimento e mesmo constatando a queda de tensão, não conseguiram evoluir na argumentação e inclusive negligenciaram esse observável, mantendo o seu ponto de vista centrado na hipótese da divisão de corrente, e, em virtude disso, não atingiram a compreensão do fenômeno no nível esperado. Isso também parece estar em correspondência com as descobertas de diversos outros autores. Duit e Von Rhöneck (1997, p. 6) verificaram que, embora os conflitos cognitivos desempenhem um papel importante ao desafiar as ideias dos estudantes, muitas vezes é difícil que eles vejam o conflito, mas o que suas concepções lhes permitirem ver. Oh (2011, p. 1153) constatou que essas concepções não mudam diretamente, mas criam hipóteses auxiliares. Dega, Kiek e Mogese (2013, p. 14) descobriram que o sucesso depende não só da capacidade intelectual, mas também da habilidade para reconhecer e resolver o conflito, e que existe uma grande dificuldade para abandonar ideias antigas.

Neste mesmo sentido, se observou nas entrevistas que, apesar de todos os sujeitos executarem todas as atividades constantes no experimento e de esgotarem todas as possibilidades disponíveis, naquelas ocasiões, para desenvolverem a compreensão das relações implícitas no fenômeno da resistência interna, somente três sujeitos conseguiram, durante esse processo, alcançar o Nível da Compreensão Formal. Esses dados estão em concordância com as palavras de Duit e Von Rhöneck (1997, p. 2), que relataram que um teste aplicado em cinco países europeus com mais de 1.200 estudantes demonstrou que, apesar dos diferentes sistemas escolares e linguagens, aproximadamente o mesmo padrão de dificuldades de aprendizagem foi encontrado nestes países.

Com o objetivo de identificar essas dificuldades de compreensão e concepções alternativas, e favorecer os conflitos cognitivos entre essas concepções e os conceitos científicos, durante a execução do experimento da pilha-lâmpada-chuveiro, empregou-se a técnica de convidar os sujeitos a elaborarem desenhos dos circuitos. Essa técnica está baseada

em Piaget (1984, p. 20), que sugere que se solicite “descrições de diversos tipos”, como pela linguagem ou por desenhos, e ainda tendo por referência Gouveia (2007, p. 96), que constatou que o uso de desenhos elaborados pelos estudantes pode auxiliar o professor a conhecer as dificuldades de compreensão desses aprendizes. Assim, com a utilização dessa técnica, pode-se verificar nesta Tese, em semelhança com Gouveia (2007, p. 93), que os sujeitos “ao não perceberem os seus erros de representação num desenho, feito por eles mesmos, demonstram que os conceitos físicos ainda não estão estruturados de maneira adequada”.

Novamente, em concordância com a afirmação de Pacca *et al* (2003, p. 163), de que a disponibilização de um contexto em sala de aula que envolva experimentos, pensamentos e liberdade de expressão não é suficiente para que o conceito de corrente seja compreendido, verificou-se na presente pesquisa que somente a interação dos sujeitos com o experimento não foi suficiente para que eles desenvolvessem a compreensão do fenômeno modelado pela resistência interna da pilha.

Neste sentido, verificou-se uma correlação com diversos autores. Dega, Kiek e Mogese (2013, p. 5) defendem que o aprendizado ocorre quando os estudantes reconhecem uma necessidade e ficam insatisfeitos com suas ideias. Entretanto, a maioria dos conceitos científicos são difíceis de entender porque não têm relação com as experiências dos aprendizes, assim, esse hiato entre as suas concepções e os conceitos científicos pode frustrar quem tem menos confiança nas suas próprias ideias. Shipstone (1988, p. 96) afirma que os sujeitos só conseguirão destinar atenção à eletricidade quando puderem dar a ela um significado. Duit e Von Rhöneck (1997, p. 8) postulam que os sujeitos só irão mudar suas concepções se certas condições racionais e emocionais forem atendidas, tais como o convencimento sobre o conceito ou se existir interesse, motivação ou um clima propício em sala de aula para a troca de ideias. Por fim, Godbey, Barnett e Webster (2005, p. 29) relatam que a utilização de uma versão mais investigativa do seu experimento possibilitou engajar mais os estudantes, que passaram então a compartilhar o entendimento dos fenômenos.

Assim, tal como esses autores, também se verificou nesta pesquisa que os sujeitos que demonstraram algum interesse, necessidade ou vontade em resolver o problema, acabaram por destinar uma parcela importante de atenção para o mesmo, adotando, assim, uma atitude mais investigativa e espontânea, que parece ter contribuído para o desenvolvimento dos seus processos cognitivos e da compreensão dos fenômenos.

De outro modo, alguns sujeitos que participaram dessa pesquisa, apesar de serem apresentados a diversas atividades, demonstraram uma grande instabilidade nas respostas e uma atitude muito passiva, bem como uma elevada dificuldade em descentrar o seu ponto de

vista, e assim, não conseguiram evoluir a sua argumentação, não demonstrando a compreensão do fenômeno no nível esperado. Da mesma forma, Duit e Von Rhöneck (1997, p. 7) afirmam que alguns sujeitos seguem percursos de aprendizagem muito complicados, que incluem avanços, retrocessos, impasses e movimentos em direções opostas ao esperado, porque, na opinião desses autores, esses estudantes não têm disposição ou capacidade para mudar o seu ponto de vista, o qual ainda é muito proveitoso e plausível para eles.

Em outro trabalho, Ballard e Hodgson-Drysdale (2011, p. 4) contam que, em uma unidade de estudo em que os estudantes compartilharam as suas explicações escritas, foi constatado que eles melhoraram o aprendizado dos conceitos, da mesma forma pela qual muitos dos sujeitos que participaram desse experimento mudaram seus pontos de vista quando lhes foram apresentadas as contra-argumentações dos colegas.

Com respeito ao tema central deste trabalho que se resume em estudar a compreensão, Chasseigne *et al.* (2011, p. 15) descobriram uma correspondência entre a aprendizagem das relações entre as grandezas elétricas e a habilidade de resolver problemas que envolvam essas relações. Greca e Moreira (1997, p. 713) defendem que, para compreender um fenômeno físico, é necessário saber o que ele faz, o que resulta dele, como iniciá-lo, como influenciá-lo e como evitá-lo, e isso significa elaborar um modelo de tal fenômeno, o que vai muito além de saber definições, princípios e fórmulas manipuladas com a única intenção de resolver os problemas.

Neste sentido, verificou-se neste trabalho que os sujeitos que não demonstraram estabelecer relações, em primeiro lugar, entre a redução do brilho da lâmpada e a queda de tensão na pilha, e, em segundo lugar, entre a tensão e a corrente na pilha, apresentaram dificuldades em construir o esquema conceitual da resistência interna da pilha. Em consequência, esses sujeitos demonstraram dificuldades para resolver e explicar o problema da redução do brilho da lâmpada e compreender esse fenômeno, visto que esse esquema conceitual considera a possibilidade da limitação de corrente e da queda de tensão, em razão, então, de um fenômeno interno à pilha, modelado por essa resistência interna.

Durante a análise dos resultados das entrevistas dos sujeitos que participaram deste estudo, identificou-se a existência de patamares ou níveis de construção cognitiva com continuidade funcional, o que suscita a possibilidade da existência de uma psicogênese do processo de compreensão do fenômeno da resistência interna, em correspondência àquela apresentada por Piaget. De certo modo, essa psicogênese também foi encontrada, mesmo que de forma implícita, em alguns trabalhos analisados.

Assim, Frederiksen, White e Gutwill (1999, p. 835) verificaram que, para haver compreensão conceitual, é necessário que se identifique a derivação de um modelo no outro, isto é, como os modelos podem ser coerentemente ligados. Dega, Kiek e Mogese (2013, p. 15) defendem que, para alcançar os conceitos científicos, a troca de ideias deverá ser um processo gradual de evolução, via conceitos intermediários, pois os métodos evolucionários graduais são mais apropriados do que os processos revolucionários de substituição de teorias. Licht (1991, p. 272) sugere uma abordagem para ensinar eletricidade baseada em níveis hierárquicos de conhecimento com regras de coerência e regularidade. Borges (1999, p. 99), ao explicar a evolução dos modelos, afirma ter se baseado na sequência *Intra*, *Inter* e *Trans* (Piaget e Garcia, 1989), que explica a progressão de um nível de conhecimento para outro mais complexo, e verificou em seu estudo que o estudante só consegue ver um fenômeno em outra perspectiva quando ele enriquecer os modelos que usa, incluindo novos elementos até então ausentes. Coelho (2007, p. 30), para validar o seu sistema categórico, utilizou o modelo denominado “SOLO”, que é baseado no conceito piagetiano de estágios, prevendo que a progressão de um estágio ao outro depende da maturação física, da interação com outras pessoas, do confronto com um novo problema, dos conhecimentos prévios e do processo de escolarização. Por fim, Hart (2008, p. 541) sugere que o modelo de transporte de elétrons, mais simples, seja utilizado como ponto de partida até que, em algum estágio posterior, seja reconhecido que esse modelo não responde mais aos problemas e às dúvidas dos estudantes e, então, seja introduzido o modelo de campo.

6.2 RESULTADOS E REFLEXÕES SOBRE A APRENDIZAGEM TECNOLÓGICA

Neste capítulo, apresentam-se algumas relações identificadas entre os resultados das entrevistas sobre o experimento pilha-lâmpada-chuveiro, a literatura sobre aprendizagem de circuitos elétricos e a Epistemologia Genética de Jean Piaget, com o objetivo de discutir suas possíveis implicações para a compreensão da aprendizagem tecnológica.

Na investigação desenvolvida por esta Tese, identificaram-se níveis de compreensão do fenômeno da redução do brilho da lâmpada como apresentado anteriormente na Tabela 3. A vantagem de ter, como produto de pesquisa, um delineamento inicial dos níveis de construção de um conhecimento determinado – como no caso dos circuitos elétricos lineares – é que eles poderão ser uma referência útil para os professores em suas sondagens e avaliações

pedagógicas. Entretanto, lembra-se que os resultados obtidos com sondagens e/ou avaliações pedagógicas devem ser considerados como meros indicadores pontuais e não em sentido absoluto, pois são apenas referenciais iniciais sobre os conhecimentos dos sujeitos.

Em primeiro lugar, acredita-se que, ao se elaborar atividades que tenham por objetivo a aprendizagem e a evolução da compreensão, deve-se considerar que esses processos ocorrem através de níveis hierárquicos e sequenciais. Neste sentido, sugere-se que as atividades envolvam conceitos e questionamentos correspondentes ao nível de compreensão em que o estudante se encontra no momento, mas evoluindo, na sequência, para níveis superiores, onde o pensamento se demonstra cada vez mais complexo.

Importante lembrar que todos os sujeitos entrevistados neste estudo iniciaram suas explicações com observáveis, atitudes, coordenações e argumentações, correspondentes ao Nível 1, em concordância com Piaget (1972b, p. 7), que afirmou que diante de situações experimentais, a falta de conhecimento do sujeito ou o fato de que ele tenha esquecido certas ideias, pode impedi-lo de raciocinar de maneira formal.

Os níveis encontrados nesta investigação permitem antecipar algumas implicações pedagógicas que serão descritas a seguir. Para o Nível 1, das Pré-noções ou da Assimilação Direta, acredita-se que as atividades precisam levar em conta que os estudantes ainda demonstram atitudes muito passivas, se limitam a observar objetos materiais e concretos, ainda não coordenam as diversas possibilidades e estabelecem relações que se restringem especificamente às partes (os componentes), sem considerar a totalidade (o circuito completo). Portanto, sugere-se que as atividades elaboradas para os sujeitos desse nível iniciem com a manipulação de objetos concretos, para, aos poucos, ir evoluindo para objetos virtuais e representações. Acredita-se ser importante que essas atividades também investiguem a consolidação dos esquemas conceituais dos circuitos lineares e apresentem questionamentos indiretos sobre a possibilidade de existir nas pilhas um fenômeno denominado como “queda de tensão” e outro chamado de “limitação de corrente”.

Para o Nível 2, da Noção Conceitual Subjacente ou Preliminar, acredita-se que as atividades devam ter por objetivo, mediante questionamentos, desencadear uma atitude mais investigativa nos sujeitos, ampliar a oferta de dados para a observação das ações próprias dos sujeitos, proporcionar a consideração de possibilidades e a elaboração de hipóteses, ainda que restritas, e propor o estabelecimento de relações entre partes (os componentes) e o todo (o circuito completo).

Sugere-se, ainda, que as atividades nesse nível também investiguem a consolidação dos esquemas conceituais dos circuitos lineares e a construção das noções de “queda de

tensão” e “limite de corrente”, bem como questionem, de forma indireta, a possibilidade da existência de um fenômeno interno à pilha, modelado por uma “resistência interna”.

Quanto ao Nível 3, subnível 3A, denominado de Nível da Compreensão Conceitual Operatória, imagina-se que as atividades devam possibilitar que os sujeitos desenvolvam atitudes investigativas mais espontâneas, ampliem o seu campo de observação também para suas próprias operações, coordenem possibilidades, criem hipóteses mais gerais e estabeleçam relações também mais gerais, que considerem tanto os componentes como o circuito enquanto um todo, embora estas possam ainda estar restritas ao concreto, tais como as explicações numéricas desenvolvidas anteriormente à elaboração de explicações conceituais.

Acredita-se, ainda, que tais atividades devam investigar também, de forma indireta, a possibilidade de os estudantes estabelecerem relações gerais mais virtuais, sobre representações, tais como as explicações que abrangem conceitos físicos e propriedades dos componentes e das grandezas físicas envolvidas no fenômeno.

Por fim, para o Nível 3, subnível 3B, denominado de Nível da Compreensão Conceitual Formal, sugere-se que as atividades relacionadas com esse nível, além de abordarem os aspectos relativos ao subnível 3A, ampliem sua atuação no sentido de possibilitarem, também, que os estudantes desenvolvam relações gerais mais virtuais, sobre representações, tais como as explicações que abrangem conceitos físicos e propriedades dos componentes e das grandezas físicas envolvidas no fenômeno.

Além dos níveis já referidos, a pesquisa proporcionou também a busca de relações teórico-práticas a partir dos percursos individuais dos participantes da pesquisa e do uso da metodologia escolhida.

Com base nessas relações, apresentam-se algumas constatações, reflexões e questões que se acredita que poderiam contribuir para o “pensar sobre a aprendizagem”, em especial, no que diz respeito à compreensão dos estudantes sobre as relações implícitas no fenômeno da redução do brilho da lâmpada, quando da ligação do chuveiro, desenvolvidas a partir do ponto de vista da Epistemologia Genética. Da mesma forma, acredita-se que as questões aqui apresentadas, de modo geral, também poderão servir para possíveis reflexões sobre o planejamento e ações voltadas para a aprendizagem e a compreensão em outros conteúdos relativos à eletricidade e, quiçá, em outras áreas de conhecimento.

Entretanto, adverte-se que não se tem a pretensão de defender que as questões aqui discutidas sejam postas como definitivas ou gerais, muito menos estabelecer algum tipo de conjunto de ações, método, modelo, técnica ou ferramenta de ensino ou de aprendizagem. Isso porque, segundo Macedo (2010, p. 53), se sabe da dificuldade para que “um autor didático,

ainda que preparado, possa prever ou determinar todas as circunstâncias de uma ação prática”, bem como, ainda em conformidade com Macedo (2010, p. 55), há que se respeitar “o caráter único da prática pedagógica, uma vez que esta resulta de uma interação professor-aluno, cuja qualidade e riqueza não podem ser programadas na véspera, nem facilitadas por um manual”.

Por outro viés, concorda-se com Greca e Moreira (1997, p. 712), que afirmam que, como os sujeitos constroem representações do mundo, é possível que o estudo da estrutura dessas representações pudesse nos fornecer uma melhor compreensão sobre o processo de aprendizagem de novas estruturas conceituais. De modo semelhante a Becker, Farias e Fonseca (2010, p. 113), acredita-se que a contribuição de Piaget para a aprendizagem “longe de uma simples transposição didática” pode auxiliar a refletir e a melhor compreender os processos cognitivos dos sujeitos. Por fim, na mesma linha de Loder (2009c, p. 316), defende-se que: “as pedagogias que focalizam a aprendizagem, ao invés do ensino, enraizando suas estratégias nas possibilidades de aprendizagem do aluno tem mais chances de sucesso”.

Assim, defende-se uma abordagem construtivista para a aprendizagem tecnológica, do mesmo modo que Macedo (2010, p. 30) defende, para a educação, uma proposta construtivista, constituída pelos seguintes objetivos: propor a busca pelas razões; o rompimento com a rigidez; a relativização da experiência; a consideração da gênese; e a possibilidade de descentração do sujeito em relação ao objeto e vice-versa.

Os dados obtidos nesta investigação fornecem subsídios para se incluir mais um ponto no elenco de Macedo, fundamental para a compreensão desses estudantes sobre o fenômeno da redução do brilho da lâmpada e que tem repercussão na aprendizagem, que é a questão do interesse. Esse termo é assumido aqui no mesmo sentido que Piaget (1972c, p. 160) defende que é a “lei do interesse que domina, ainda, o funcionamento intelectual”, e que “o interesse verdadeiro surge quando o eu se identifica com uma ideia ou um objeto, quando encontra neles um meio de expressão e eles se tornam um alimento necessário à sua atividade”.

Da mesma forma, verificou-se que a questão do interesse possui real relevância a ponto de a própria legislação relacioná-la com as cognições, através da personalidade dos estudantes, como destacado pelos PCNs (BRASIL, 2000, p. 59): “A integração das cognições com as demais dimensões da personalidade é o desafio que as tarefas da vida, na sociedade da informação e do conhecimento, estão (re)pondo à educação e à escola”.

Nesta pesquisa, verificou-se que os sujeitos que não demonstraram muito interesse em resolver o problema da atividade experimental, mesmo que somente no início do seu trabalho, tal como os sujeitos S23, S24 e S32, por exemplo, apresentaram bastante dificuldade na sua

trajetória, principalmente no que se refere à descentração do seu ponto de vista, característica essa, considerada fundamental para a compreensão do fenômeno estudado.

Parece que há, nesses casos, uma questão típica de interesse no mesmo sentido citado por Battro (1978, p. 141), de que “O interesse seria uma espécie de mecanismo de ligação entre as forças de que dispõe o indivíduo e a regulação interna que disso resulta, de um lado, e, valores, de outro”. Essa inferência se deve ao fato de se ter constatado que alguns sujeitos responderam com evasivas ou simples descrições do fenômeno, no experimento proposto, apesar de já haverem, em anos letivos anteriores, estudado os conceitos considerados necessários para que pudessem elaborar, ou pelo menos apresentar tentativas de construir uma explicação científica para o fenômeno. Verificou-se, ainda, que os sujeitos constataram somente o que acontecia com o observável que lhes interessava, como, por exemplo, o rádio do carro que se desligou, mas sem buscar um entendimento das razões desse fato.

Nesses casos, onde o interesse se demonstrou escasso, pode-se conjecturar que isso se deva ao fato de que o sujeito simplesmente acredita que é assim que acontece e pronto, o que caracteriza o que Piaget e Garcia (1987, p. 67) denominam como uma pseudonecessidade, ou ainda, pode-se supor que “a pergunta feita entedia” ou “não provoca nenhum trabalho de adaptação”, e então os argumentos se assemelham muito às respostas do tipo não-importa-o-que-ismo ou não importistas das crianças entrevistadas por Piaget (PIAGET, 2005, p. 16).

Acredita-se que Piaget (1972c, p. 152) tenha levado em consideração essa premissa quando preconizou que a escola moderna deveria dar ênfase “para a atividade real, para o trabalho espontâneo baseado na necessidade e no interesse pessoal”, pois Piaget (1972c, p. 153) considerava que “o trabalho obrigatório é uma anomalia antipsicológica” e que “toda atividade fecunda supõe um interesse”.

Portanto, defende-se que toda a atividade de aprendizagem que tenha por objetivo o processo de construção da compreensão deve ser desenvolvida a partir dos pontos de vista dos estudantes, tomando por referência algum interesse ou alguma necessidade desses sujeitos em relação ao tema. Para desenvolver uma abordagem desse tipo, pode-se considerar o que foi feito com o sujeito S24 durante sua entrevista, ao lhe apresentar diversas situações do cotidiano até que se encontrasse alguma que fosse do seu interesse, tal como a situação do rádio do carro, ou ainda, questionar-lhe quais assuntos seriam do seu interesse, para, a seguir, relacioná-los com o tema de estudo.

Outro ponto que se verificou ser fundamental para a compreensão do fenômeno da redução do brilho da lâmpada é a condição prévia de os esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares já estarem consolidados. No caso desta investigação, esses esquemas

conceituais se referem aos conceitos fundamentais dos circuitos elétricos lineares, tais como os conceitos de tensão, corrente, resistência, Lei de Ohm, circuito série, circuito paralelo, circuito misto, Teorema de Thèvenin, fonte de tensão real e fonte de tensão ideal, estudados pelos sujeitos em anos anteriores do Curso Técnico. No que diz respeito à relação entre a compreensão e os esquemas conceituais, lembra-se que Piaget (1977, p. 121) havia verificado, no caso de um experimento com um pacote sobre uma prateleira suspensa, que, embora o sujeito perceba que, puxando o barbante de forma oblíqua à linha mediana da prateleira, imprimindo ao pacote uma trajetória que não é reta, mas que não provoca sua queda, mesmo assim “ele não chega a compreendê-la por falta de esquemas suficientes de composição vetorial de forças”.

Considerando-se ainda que Piaget (1977, p. 125) defende que a constatação dos dados de observação “depende do nível das coordenações inferenciais do sujeito, em outras palavras, da sua compreensão”, pode-se inferir que, naqueles casos em que os sujeitos não demonstraram que os esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares estavam consolidados, talvez em função de alguma dificuldade de aprendizagem anterior, então, poderá haver desinteresse pelo problema proposto e, assim, dificuldades para a compreensão do fenômeno da redução do brilho da lâmpada.

Acredita-se, então, que, devido a essa incompletude na compreensão, poderá ocorrer uma negligência ou uma assimilação deformada dos observáveis presentes no experimento, o que poderá dificultar a transformação dos esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares em esquemas conceituais mais gerais, que comportem os conceitos relativos ao modelo científico explicativo da resistência interna da pilha. Esses esquemas mais gerais, por sua vez, é que poderiam proporcionar condições para a compreensão das relações implícitas no fenômeno da redução do brilho da lâmpada quando da ligação do chuveiro.

Por outro lado, acredita-se que, se esses esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares estiverem consolidados, poderá haver uma melhor assimilação dos dados do experimento, o estabelecimento de relações e as transposições desses esquemas, que poderão, então, proporcionar as inferências e o seu próprio desenvolvimento em esquemas mais gerais. Isso poderá possibilitar a ocorrência de tomadas de consciência em níveis superiores e, conseqüentemente, a compreensão do fenômeno da redução do brilho da lâmpada.

É assim que alguns sujeitos apresentaram lacunas de conhecimento dessa natureza, tal como os sujeitos S23 e S31, ao demonstrarem não saber se montaram em série ou paralelo; o sujeito S35, ao demonstrar dificuldades em saber explicar o seu argumento; o sujeito S29, ao demonstrar não saber distinguir e empregar as diferentes formas da Lei de Ohm; os sujeitos

S34 e S32, ao apresentarem respostas distantes do significado dos conceitos científicos, que parecem se assemelhar muito às fabulações das crianças entrevistadas por Piaget; os sujeitos S31, S32, S33 e S35, ao apresentarem dificuldades em relacionar teoria e prática; os sujeitos S23, S32 e S33, ao demonstrarem ter dificuldades em saber como simular o experimento; o sujeito S30, ao demonstrar estar centrado na solução quantitativa e não na compreensão; os sujeitos S31, S32 e S33, ao demonstrarem saber resolver o exercício escrito, mas não conseguirem estabelecer relações entre esse e o circuito do experimento; o sujeito S33, ao demonstrar não compreender o que estava fazendo nem porque fez.

Assim, observou-se que, para alguns sujeitos, a montagem do circuito de simulação não produziu progressos significativos para a mudança de nível de sua compreensão conceitual, além da mera constatação da diminuição do brilho da lâmpada. Acredita-se que isso possa ter ocorrido porque esses sujeitos ainda não tinham consolidados os esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares. Entretanto, em outros casos, observou-se que os sujeitos inferiram hipóteses ou constataram o observável “queda de tensão no circuito montado”. Assim, como essa inferência não ocorreu da mesma forma para todos os sujeitos, pode-se presumir que esses últimos tiveram, anteriormente a esse experimento, desenvolvido esquemas conceituais consolidados que pudessem auxiliá-los nessa construção.

O que parece ser comum a esses casos é que há uma insuficiência de compreensão dos conceitos referentes aos circuitos elétricos lineares, que influi na própria compreensão desse experimento, visto que os sujeitos, mesmo chegando a resultados empíricos, não conseguem estabelecer relações com os conceitos teóricos. Essa situação sugere que esses sujeitos estejam mais focados na execução e obtenção de resultados, o que parece ser um procedimento muito frequente por parte dos estudantes. Isso os leva, então, a desenvolver, a contento, um saber fazer, mas que, devido à sua natureza, pouco contribui para o desenvolvimento da compreensão, e, conseqüentemente, para que entendam o que estão fazendo e as razões de fazerem. Essas situações lembram as palavras de alguns professores entrevistados no início deste trabalho, tal como o Professor nº 2, ao afirmar que: “Muitos chegam até o final do curso sem, na verdade, compreender o que estão fazendo”, e o Professor nº 1, ao advertir que: “A maioria dos alunos não consegue fazer diferente do que foi ensinado! Eles agem como se estivessem robotizados”.

Assim, tendo por base os casos em que os esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares ainda não demonstraram estar consolidados, isto é, onde não se pode constatar uma compreensão dos conceitos, mesmo assim, verificou-se que houve sucesso na realização de atividades mais concretas e executivas, tais como cálculos, montagens e testes. Supõe-se que

isso possa ter ocorrido porque essas atividades necessitam muito mais de esquemas práticos de ação do que de esquemas conceituais. Nessa linha, identificou-se alguns autores que constataram que somente o fato de executar atividades não garante a compreensão dos conceitos dos circuitos elétricos lineares, tais como os apresentados a seguir.

Stetzer *et al.* (2013, p. 141) constataram que as lições, temas e experiências de laboratório não foram suficientes para ajudar os estudantes a entender o circuito fechado. Silva, Takahashi e Pinto (2012, p. 22) verificaram que, embora fossem fornecidos vários exemplos e exercícios, e que apesar de os conceitos de cunho instrumental terem sido aprendidos, mesmo assim, os conceitos dos circuitos lineares não foram de todo compreendidos, e que os estudantes pensam que não precisam estudar a parte teórica, que basta resolver exercícios (SILVA; TAKAHASHI; PINTO, 2012, p. 18). Já os autores Smith e van Kampen (2013, p. 395) concluíram que uma aula de circuitos RC série, mesmo se seguida por um experimento, pode melhorar a argumentação qualitativa, mas não é suficiente para garantir o entendimento dos circuitos RC, visto que os termos poderiam ter sido adquiridos por memorização. E ainda, Klajn (2011, p. 284), que defendeu que “Para que ocorra efetivamente o desenvolvimento cognitivo do adolescente, somente com a técnica de aplicação de exercícios escolares na álgebra pura, não teremos muita influência na compreensão dos estudantes”.

No intuito de explicar essa situação, Stetzer *et al.* (2013, p. 141) alegam que essas dificuldades são endereçadas pela educação tradicional, e Greca e Moreira (1997, p. 712) afirmam que, quando os conceitos são ensinados aos estudantes, “a ênfase é colocada apenas em representações matemáticas, possivelmente dificultando a sua compreensão”. Do mesmo modo, Hart (2008, p. 529) observou que, enquanto o professor atenta às dificuldades conceituais, ele não percebe que estudantes não compreenderam o sentido das explicações. Por fim, Frederiksen, White e Gutwill (1999, p. 835) afirmam que, em vez de aprender a analisar um circuito, os estudantes são ensinados a usar o diagrama elétrico e o enunciado do problema para obter dados que possam colocar nas equações para calcular as respostas e, assim, sua tendência natural de raciocinar causalmente parece desaparecer.

Sabendo-se que Piaget (1972c, p. 163) afirma existir “uma inteligência prática servindo de subestrutura à inteligência conceitual e cujos mecanismos parecem ser independentes desta última e inteiramente originais”, e considerando-se que o que parece estar sendo enfatizado por essas atividades puramente executivas é a inteligência prática dos estudantes, e não a inteligência conceitual, pode-se inferir que a ênfase na inteligência prática pouco contribuirá para a compreensão, a qual depende da inteligência conceitual, construída a

partir da conceituação decorrente das tomadas de consciência sobre o fenômeno físico e das relações lógico-matemáticas implícitas na teorização sobre os circuitos elétricos lineares.

Constatou-se ainda que as dificuldades na compreensão parecem ter ocorrido quando os sujeitos tiveram dificuldades em estabelecer uma relação entre essa situação do experimento e seus esquemas conceituais. Por isso, essa situação lhes pareceu como nova, e isso reforçou ainda mais suas dificuldades em aplicar os esquemas conceituais desenvolvidos anteriormente para explicar o fenômeno.

Em suma, pode-se inferir que, devido ao fato de não terem vivenciado situações em que seus esquemas conceituais pudessem ter sido desenvolvidos, questionados, contrapostos e testados, na verdade, alguns sujeitos aprenderam a fazer, mas não desenvolveram sua compreensão, o que se apresentou nas entrevistas. Da mesma forma, essa insuficiência no desenvolvimento dos esquemas conceituais e na compreensão, muito provavelmente poderá dificultar a compreensão de experimentos e conceitos mais complexos, possivelmente levando os sujeitos a repetirem o modelo de aprendizagem baseado no fazer sem compreender, enquanto esse modelo estiver atendendo aos seus interesses imediatos.

Assim, com base nos resultados desta pesquisa e nas leituras efetuadas, pode-se inferir que as atividades que enfatizam somente a obtenção de resultados ou o êxito, de forma automática e mecanicista, não produzem resultados satisfatórios do ponto de vista da compreensão, corroborando com Piaget (1967b, p. 159), ao afirmar que “um ato de inteligência senso-motora só tende para satisfação prática, isto é, para o sucesso da ação e não para o conhecimento como tal. Tal ato não procura a explicação, nem classificação, nem constatações por si mesmo, não relaciona causalmente”.

Defende-se, então, que as atividades relacionadas à aprendizagem e à compreensão dos conceitos físicos busquem promover reflexões, tais como questionamentos, desafios e contra-argumentações, para que se possa verificar, testar e desenvolver a compreensão sobre os fenômenos estudados. Do mesmo modo, acredita-se que essas atividades devam ser elaboradas com o objetivo de proporcionar um maior interesse dos estudantes, relacionando-as com eventos do cotidiano conhecido dos aprendizes, de modo semelhante ao que se fez nas entrevistas, em especial com relação ao sujeito S24. Entretanto, recomenda-se que se considere a possibilidade de que essas atividades possam evoluir para problemas mais complexos e distintos da realidade particular dos sujeitos, no mesmo sentido que a Lei nº 9.394/1996, artigo 1º, § 2º (BRASIL, 2005, p. 11) orienta para que elas estejam relacionadas com situações que ocorrem no “mundo do trabalho e na prática social”.

Neste sentido, pode-se verificar que a metodologia utilizada nesta pesquisa, entrevista orientada pelo método clínico de Piaget, proporcionou a obtenção de preciosas informações, com uma riqueza de detalhes sobre os processos de desenvolvimento da compreensão dos sujeitos a respeito da redução do brilho da lâmpada no instante da ligação do chuveiro, as quais se acreditam que poderão contribuir para as práticas docentes, em vários pontos, como os apresentados a seguir.

Um primeiro ponto a se considerar são os tipos de reações dos sujeitos aos questionamentos. Nesta investigação, foram identificadas diversas reações, das quais cita-se as mais recorrentes: o erro conceitual, os conflitos cognitivos, o recalçamento ou negligência, o egocentrismo intelectual, a descentração dos pontos de vista, e as tomadas de consciência. A seguir, discute-se essas reações e suas implicações na educação.

Uma reação muito recorrente nessas entrevistas foi o erro, no sentido de uma explicação distante do significado do conceito científico. A esse respeito, Piaget (1984, p. 18) defende que o sujeito “necessita passar por um certo número de fases caracterizadas por ideias que adiante irá considerar erradas, mas que parecem ser necessárias para o encaminhamento às soluções finais corretas”. Marques (2005, p. 243), por sua vez, considera o erro como uma evidência da forma de se pensar: “o erro é fundamental como ocasião para conhecer o curso do desenvolvimento cognitivo do aluno”.

Neste sentido, verifica-se que a forma pela qual o erro é considerado na maioria dos casos em educação, tal como algo indesejável e que deveria ser suprimido do processo, não parece estar de acordo com o que defendem os autores.

Alternativamente, defende-se que a avaliação não seja algo pontual, mas que seja efetuada durante todo o desenvolvimento da atividade em que se pretende trabalhar determinados temas. Assim, o erro poderá ser utilizado como um indicativo da etapa do desenvolvimento cognitivo do estudante, de modo a fornecer subsídios para o planejamento das atividades subsequentes. Desse modo, um constante redirecionamento da proposta de trabalho poderia readequá-la ao curso do desenvolvimento individual de cada aluno. Com essa abordagem, o foco da avaliação da aprendizagem muda do resultado final para os resultados parciais, para os conflitos, para as constatações e para as tomadas de consciência, o que parece sugerir, portanto, a necessidade de uma formação psicopedagógica complementar para os professores melhor compreenderem o funcionamento desses mecanismos.

Outro tipo de reação bastante encontrada nessa investigação foram os conflitos cognitivos que se apresentaram como divergências entre os pontos de vista dos sujeitos entrevistados e os observáveis por eles constatados.

Os conflitos cognitivos são tão importantes quanto os erros, nos processos de aprendizagem e da compreensão, pois evidenciam exatamente quando os pontos de vista do sujeito não dão conta de explicar aquilo que foi constatado, e aquilo que o estudante está necessitando para superar a etapa em que se encontra.

Neste sentido, da mesma forma que o erro, o conflito também pode ser considerado, na aprendizagem, tanto para potencializar tomadas de consciência e novas compreensões, como para indicar a etapa do desenvolvimento em que o sujeito se encontra, e assim servir de referência para o planejamento das situações de aprendizagem subsequentes que devem ser apresentadas aos estudantes.

Isto significa que, quando os estudantes entram em uma situação de conflito, quando suas hipóteses não dão conta dos observáveis, esta poderá lhes instigar a procurar novas hipóteses e a testá-las para tentar responder ao problema. Se assim o for, havendo interesse, e de acordo com o que lhes permitem os níveis de desenvolvimento dos seus esquemas conceituais, passo a passo, o aprendiz poderá ir avançando as suas compreensões. Por outro lado, uma atitude mais passiva em situação de conflito poderá favorecer a manutenção de um ponto de vista egocêntrico e equivocado em relação aos conceitos científicos.

Portanto, defende-se a importância de se elaborar atividades relativas à aprendizagem e à compreensão que incluam situações-problema que sejam adequadas aos esquemas conceituais dos estudantes e de seu interesse, de modo que eles tenham condições de desenvolver uma atitude mais ativa na direção de tentar encontrar novas hipóteses e testá-las, para procurar responder ao problema.

Uma característica que esteve presente em grande parte dessas reações aos questionamentos, foi o egocentrismo intelectual, o qual, conforme Inhelder e Piaget (1976, p. 255), se constitui em “uma indiferenciação inicial entre o objeto ou o outro e as atividades pessoais, seguida de uma descentração no sentido da objetividade e da reciprocidade”, e que, segundo Piaget (1972c, p. 179), se evidencia quando “o indivíduo permanece prisioneiro do seu próprio ponto de vista, que, naturalmente, considera como absoluto”.

No entanto, de acordo com Inhelder e Piaget (1976, p. 257), esse egocentrismo do adolescente se constitui em uma forma “bem diferente da encontrada na criança (que é sensorio-motor, ou simplesmente representativo, mas sem reflexão), mas que decorre do mesmo mecanismo em função de condições novas, criadas pela elaboração do pensamento formal”, visto que “parece não somente um ato de conhecimento positivo, mas ainda uma ação efetiva que modifica a realidade como tal”.

O egocentrismo encontrado nos estudantes do ensino médio evidencia diversos níveis em um mesmo sujeito, e em todos os sujeitos entrevistados, o que parece indicar alguma semelhança com aquele egocentrismo encontrado por Marques (2005, p. 251) nos professores que investigou, quando a autora se refere aos diferentes “níveis de egocentrismo em um mesmo professor, em uma mesma aula”.

Constatou-se, ainda, que o egocentrismo demonstrado através dos argumentos apresentados por alguns sujeitos entrevistados nesta Tese parecem estar ainda muito arraigados em seus pensamentos, em concordância com Duit e Von Rhöneck (1997, p. 5), que afirmaram que alguns estudantes não têm disposição ou capacidade para mudar o seu ponto de vista, pois, segundo Chinn e Brewer (1993), isso é muito proveitoso e plausível para eles, e em sintonia com Oh (2011, p. 1153), que verificou que esses pontos de vista não mudam facilmente, mas se amparam na criação de hipóteses auxiliares.

Por outro lado, observou-se que, naquelas situações em que ocorreu uma descentração dos pontos de vista em relação a outras perspectivas ou possibilidades, abriu-se o caminho para a constatação de outros observáveis, para a elaboração e análise de novas hipóteses, bem como a verificação e o estabelecimento de novas inferências. Assim, verificou-se construírem-se possibilidades e condições para o estabelecimento das tomadas de consciência e o correspondente desenvolvimento dos esquemas conceituais que, provavelmente, podem possibilitar o desenvolvimento da compreensão do fenômeno.

Neste sentido, pode-se inferir que a descentração do ponto de vista é uma condição importante para a construção da aprendizagem e para a compreensão, e assim, pensa-se que o desenvolvimento das atividades que tenham esses objetivos deva incluir situações que favoreçam o conflito, a descentração e a conseqüente tomada de consciência, pois, conforme Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 256): “A fonte dos progressos situa-se nos desequilíbrios que incitam o sujeito a ultrapassar seu estado atual para procurar soluções novas”.

Considera-se que a utilização dessa forma de abordagem aos processos de aprendizagem e da compreensão, através da utilização do método clínico em sala de aula, pode favorecer o desenvolvimento da aprendizagem e da compreensão, no momento em que o sujeito tiver interesse e quando os esquemas conceituais dos circuitos lineares estiverem consolidados suficientemente. No entanto, como o ato de descentrar-se é endógeno ao sujeito, não se pode garantir que o uso de questionamentos e de contra-argumentos, como os utilizados nessa investigação, poderão desencadear a descentração e promover a compreensão do fenômeno estudado, ainda que mostrem outros pontos de vista aos sujeitos.

A seguir, discute-se algumas formas de questionamento que foram lançadas aos sujeitos durante as entrevistas. Muito embora, esses questionamentos tenham sido feitos por um investigador externo em situação de pesquisa e, portanto, fora da sala de aula, acredita-se que eles possam ser úteis como referência tanto para o professor como para os estudantes, no que diz respeito ao planejamento e à execução de ações voltadas para a aprendizagem e para a compreensão do fenômeno em questão, visto que parece ter ocorrido alguma aprendizagem implícita nas mudanças constatadas nas respostas ao longo de cada entrevista.

Assim, os questionamentos feitos na investigação se referiam, basicamente, a solicitar previsões e explicações para os fenômenos, solicitar que os sujeitos fizessem desenhos e que provassem suas afirmações, e ainda, apresentar contra-argumentações de supostos colegas ou com o uso de outros componentes, materiais ou equipamentos.

Algo que chamou a atenção nas arguições foi que, dos dez sujeitos que participaram das entrevistas, oito demonstraram concordar com algum dos contra-argumentos dos colegas, e, os outros dois sujeitos não aparentaram discordar, mesmo demonstrando estar em dúvida.

Muito embora se tenha que levar em conta que os sujeitos que demonstraram mudanças nas respostas durante o transcurso da entrevista, na direção esperada, só o fizeram após os citados questionamentos do pesquisador, é fato notável que a argumentação dita dos colegas influenciou na construção de respostas mais completas.

Acredita-se que, nesses casos, muito provavelmente, os sujeitos tenham se sentido instigados a responder ao argumento citado como de um colega, e então sentiram a necessidade de refletir e avaliar. Esse processo de refletir e testar hipóteses deve ter ajudado os sujeitos a descentrarem os seus pontos de vista. Essa abertura de pensamento para novas possibilidades talvez tenha facilitado a que os sujeitos passassem a considerar a hipótese da resistência interna e isso, então, pode ter contribuído para a (re)construção desse esquema conceitual. Esta possibilidade é questão relevante, extraída desta Tese, para ser considerada em novas pesquisas que possam verificar a conservação das respostas mais avançadas dos sujeitos e, mais completas, após um determinado intervalo de tempo.

Esses resultados, também, parecem vir a destacar a importância do compartilhamento dos pontos de vista como uma forma de testar e, possivelmente, colocar em conflito os pontos de vista dos estudantes, para que possam refletir, estabelecer novas relações inferenciais e, assim, tomar consciência e quiçá evoluir sua compreensão. Neste sentido, Ballard e Hodgson-Drysdale (2011, p. 4) verificaram que, quando os estudantes compartilham resultados através de explicações escritas, há uma melhor organização das ideias e melhoria no aprendizado dos conceitos e da linguagem verbal e técnica.

Sendo assim, acredita-se que, se o estudante for levado a refletir sob outras perspectivas, como, por exemplo, através de contra-argumentações, poderá ter mais possibilidades para descentrar o seu ponto de vista e, em consequência, mais condições para desenvolver a compreensão.

De forma semelhante, pode-se pensar que o fato de os sujeitos fazerem desenhos do circuito tenha favorecido que eles refletissem sobre o problema, constatassem erros ou contradições e, em alguns casos, até auxiliou na compreensão, corroborando com Piaget (1984, p. 20), que defende que “verifica-se assim que os exercícios de observação poderiam ser de grande utilidade”, sugerindo que se solicite “descrições de diversos tipos” como pela linguagem ou por desenhos.

Portanto, pode-se esperar que, se for solicitado ao estudante que elabore um desenho do circuito, esse novo observável poderá auxiliá-lo a refletir sob outra perspectiva, o que talvez possa contribuir para a evolução da sua compreensão.

Por fim, afirma-se que, se o estudante se propuser ou for instigado a descentrar o seu ponto de vista de modo que consiga estabelecer uma maior interação entre ele e o objeto de estudo e vice-versa, dados observáveis até então negligenciados poderão ser constatados, novas relações poderão ser estabelecidas, novas tomadas de consciência poderão ocorrer, novas inferências poderão ser feitas e, assim, a compreensão do estudante poderá ser potencializada.

Um outro ponto que se acredita que deva ser considerado ao se elaborar atividades que visem à aprendizagem e à compreensão, é que a compreensão evolui por níveis sequenciais e hierárquicos, aos moldes de uma psicogênese da compreensão, tal como no fenômeno da redução do brilho da lâmpada, constatado nesta Tese por análise das entrevistas.

Neste sentido, Borges (1999, p. 122) diz que o estudante só consegue ver um fenômeno com outra perspectiva quando ele enriquecer os modelos que usa. Hart (2008, p. 529) sugere que o modelo do transporte de elétrons seja usado no início da aprendizagem até que seja verificado que esse modelo não responde a certas questões e, então, seja introduzido o modelo do campo elétrico. Frederiksen, White e Gutwill (1999, p. 835) defendem que, para haver compreensão, os estudantes precisam realizar a derivação de um modelo ao outro. E Loder (2009c, p. 315) afirma que o estudante “evolui em sua autonomia cognitiva e moral, o que requer uma intervenção pedagógica ajustada às diferentes etapas dessa evolução”.

Assim, acrescenta-se, ainda, que se as atividades que tenham por objetivo a aprendizagem e a compreensão procurarem promover a atitude investigativa, a interação com o objeto de estudo, o enfrentamento e a tentativa de superação do conflito cognitivo, o

desenvolvimento de inferências, o estabelecimento de relações em um todo completo e coerente, e, finalmente, as tomadas de consciência, é possível que possam impulsionar a compreensão dos estudantes.

É importante lembrar que não se ignora a existência de dificuldades nas escolas para a realização de um trabalho mais centrado na aprendizagem dos estudantes, mas acredita-se que, a partir do que já foi dito, é possível considerar algumas questões que poderiam contribuir para a compreensão desses estudantes. Neste sentido, pensa-se que seja importante que o professor, na medida de suas possibilidades, busque encontrar subsídios teóricos e empíricos que possam auxiliá-lo a melhor compreender os pontos de vista dos estudantes, seus percursos de aprendizagem e suas dificuldades.

Dessa forma, para tentar amenizar os obstáculos, defende-se, com Delval (2010, p. 127), que é necessário situar o estudante “diante dos problemas e incitá-lo a buscar por si mesmo”, visto que os estudantes “avançam quando lhes apresentamos problemas intrigantes e lhes ajudamos a encontrar explicações” (DELVAL, 2010, p. 128). Do mesmo modo, corroborando com Piaget (1998, p. 180), o que se espera é que o próprio estudante se torne “um experimentador ativo que procura e acha as soluções, por meio de inúmeras tentativas talvez, mas por seus próprios meios intelectuais”. Para tanto, considera-se importante também que se incentive, em concordância com Ballard e Hodgson-Drysdale (2011, p. 4), que os estudantes compartilhem resultados através de explicações escritas, promovendo a troca de contra-argumentações, e, conseqüentemente, a descentração.

Em suma, para encerrar este capítulo, destacam-se algumas conclusões que foram inferidas ao longo do processo de sua construção.

Em primeiro lugar, defende-se que as questões apresentadas neste capítulo podem contribuir para a aprendizagem e para avanços na compreensão dos estudantes, no mesmo sentido que Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 256) preconizam que “as situações que tornam ótimas as oportunidades de progresso são aquelas em que o sujeito pode confrontar, uns com os outros, esquemas previamente bem experimentados de natureza e complexidade diversas”. Do mesmo modo, lembra-se ainda Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 257) que, ao contestarem o argumento de que a aprendizagem só dependa da maturação, defendem que “é possível, por meio de exercícios adequados, diminuir os intervalos que separam normalmente os degraus sucessivos do desenvolvimento das noções estudadas”.

Em segundo lugar, defende-se que a compreensão dos estudantes deve se desenvolver segundo um modelo aqui denominado como psicogênese da compreensão, a qual se expressa por níveis hierárquicos e sequenciais, aos moldes da psicogênese da compreensão do

fenômeno da redução do brilho da lâmpada quando da ligação do chuveiro, constatada na investigação desenvolvida nesta Tese. Como dito anteriormente, essa psicogênese se manifesta em três níveis e dois subníveis: o Nível 1, das Pré-noções ou da Assimilação Direta; o Nível 2, da Noção Conceitual Subjacente ou Preliminar; e o Nível 3, da Compreensão, que se divide em dois subníveis. O subnível 3A, denominado de Nível da Compreensão Conceitual Operatória, e o subnível 3B, denominado de Nível da Compreensão Conceitual Formal.

Em terceiro lugar, defende-se que as relações entre as questões aqui apresentadas com base na Epistemologia Genética, a Teoria de Circuitos Elétricos Lineares e as atividades de aprendizagem, podem servir de ponto de partida para novas pesquisas sobre o tema.

Por fim, com base nas afirmações de Macedo (2010, p. 53) sobre a dificuldade de “determinar todas as circunstâncias de uma ação didática”, e sobre ao que Macedo (2010, p. 55) se refere como o “caráter único da prática docente” e a “qualidade e riqueza” da relação entre professor e aluno, bem como, considerando a experiência docente do autor da Tese, acredita-se que uma das possíveis razões da rejeição a alguns métodos pedagógicos tradicionais se apresenta quando esses métodos tentam impor modelos de ação didática rígidos e engessados, que entram em conflito com posições epistemológicas, com questões específicas relativas aos conteúdos, natureza e finalidades do tema estudado, e com a prática e a experiência docente.

Assim, espera-se que, ao refletir sobre as questões aqui apresentadas, estudantes e professores poderão, então, se identificar e identificar os seus processos e a sua própria trajetória intelectual e, com isso, potencializar o seu interesse, recorrendo então às teorias epistemológicas, psicológicas e psicopedagógicas para auxiliá-los a conhecer os processos de aprendizagem e de compreensão dos fenômenos físicos. Com base na trajetória intelectual do autor desta Tese e nos resultados desta investigação, defende-se que, com esse conhecimento, poder-se-á, então, elaborar atividades que visem promover a compreensão, e ainda, os professores poderão melhor auxiliar os aprendizes durante essa construção, no mesmo sentido em que Piaget (1998, p. 180) realça o papel central do professor em instigar e animar as discussões e a busca do conhecimento, propiciando ao estudante a “apropriação desse admirável poder de construção intelectual que toda atividade real manifesta”.

Portanto, espera-se que as questões aqui apresentadas possam contribuir para que os partícipes desse processo de evolução da compreensão possam refletir sobre ele, e assim, cada um, no que lhe diz respeito, possa ser um protagonista ativo do seu próprio aprendizado.

6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta Tese originou-se a partir de constatações sobre as dificuldades de aprendizagem de estudantes durante minha trajetória intelectual e docente, seguidamente expressas através do seguinte questionamento: “Como é que vocês não sabem isso?”.

O trabalho aqui apresentado teve por objetivo **investigar a construção do conhecimento de estudantes na área tecnológica a partir de um tema específico de eletricidade**, que é a análise de circuitos elétricos lineares em corrente contínua, procurando responder à seguinte questão de pesquisa: “**Como os processos cognitivos do sujeito se evidenciam, ou se explicitam, na aprendizagem de circuitos elétricos lineares?**”.

Para desenvolver esta investigação, foram elaboradas proposições teóricas que serviram de norte para a mesma, bem como uma entrevista, com base no método clínico, que consistia em investigar as argumentações dos sujeitos para explicar a redução do brilho de uma lâmpada quando da ligação de um chuveiro. Nos parágrafos seguintes, comparo os resultados obtidos através dessas entrevistas com as proposições inicialmente elaboradas.

A primeira proposição afirmou que se encontrariam patamares ou níveis de construção cognitiva com continuidade funcional nos processos de aprendizagem dos estudantes sobre circuitos elétricos lineares e que esses patamares iriam corresponder aos três níveis apresentados por Piaget (1977, p. 208). Os resultados advindos da coleta de dados indicaram que os processos cognitivos dos sujeitos entrevistados se manifestaram mediante níveis hierárquicos e sucessivos (Tabela 3), caracterizando uma **psicogênese da compreensão** do fenômeno da redução do brilho da lâmpada quando da ligação do chuveiro, como proposto inicialmente, porém, os níveis encontrados apresentaram diferenças dos níveis previstos.

Pensava-se que o primeiro nível seria o da ação material sem conceituação, composto por estruturas operatórias que ainda escapam à consciência do sujeito, no qual se encontrariam situações em que o sujeito tentou resolver o problema, chegando a uma solução ou não, mas sem saber explicar como fez, muito menos porque adotou aquele caminho, e, ainda, que ele não saberia avaliar se a sua resposta estaria adequada aos conceitos científicos.

Entretanto, no Nível 1, das Pré-noções ou da Assimilação Direta, verifiquei que, além de os argumentos dos sujeitos estarem vinculados à ação material, quanto à constatação dos observáveis perceptivos (brilho da lâmpada, desenho do circuito, etc.), estes se caracterizavam

por demonstrar atitudes passivas, pela dificuldade de coordenar as diversas possibilidades e pela dificuldade de estabelecer relações que considerassem a totalidade (circuito completo).

Verifiquei, em concordância com Piaget (1972b, p.7), que todos os entrevistados, mesmo aqueles sujeitos que conseguiram desenvolver argumentações bem elaboradas a ponto de alcançarem o nível de compreensão formal, iniciaram suas explicações pelo Nível 1.

Fato notável foi que as explicações desse nível se referem a um pensamento centrado em uma perspectiva de divisão da corrente, segundo a qual a mesma corrente que antes ia somente para a lâmpada, com a ligação do resistor do chuveiro, será dividida com os dois.

Acreditava-se que o segundo nível seria o da conceitualização, no qual se encontrariam as tomadas de consciência das próprias ações, ou seja, seria o nível da interiorização das ações materiais por meio de representações semiotizadas. Imaginava-se constatar, nesse nível, que os sujeitos chegariam a uma solução. Pensava-se que eles demonstrariam como fizeram a análise e o modelamento matemático, seja dos conceitos elétricos ou das equações, mas não saberiam explicar as razões de terem seguido aquele caminho, nem avaliar a adequação da solução aos conceitos científicos.

No entanto, no Nível 2, da Noção Conceitual Subjacente ou Preliminar, identifiquei tomadas de consciência parciais sobre o funcionamento do circuito. Constatei que esse nível se constitui por atitudes mais investigativas, embora ainda desencadeadas pelos questionamentos; pela ampliação dos observáveis para as ações próprias dos sujeitos; pela consideração de possibilidades; pela elaboração de hipóteses, ainda que restritas a algumas partes do circuito (queda de tensão da pilha ou limitação de corrente); e pelo início do estabelecimento de relações entre partes (os componentes) e o todo (o circuito completo).

Pensava-se que o terceiro nível seria o das operações formais, no qual a tomada de consciência começaria a tornar-se, também, uma reflexão do pensamento sobre si mesmo e no qual os sujeitos conseguiriam elaborar operações sobre operações, e isso lhes possibilitaria poder variar alguns fatores em suas experimentações, bem como considerar os diversos modelos possíveis para a explicação dos fenômenos.

Acreditava-se que, nesse nível, encontrar-se-iam as conceitualizações mais elaboradas e mais alinhadas com os conceitos científicos da Teoria de Circuitos Elétricos Lineares e se constataria que os sujeitos haviam chegado à solução correta. Pensava-se que eles saberiam explicar como fizeram a análise e o modelamento matemático dos fenômenos, que saberiam explicar as razões de terem seguido aquele caminho e, ainda, que saberiam avaliar a adequação da solução aos conceitos científicos.

Entretanto, o Nível 3 se mostrou um pouco diferente do esperado. Em primeiro lugar, constatei que nesse nível os argumentos começavam a demonstrar a compreensão dos fenômenos e, em segundo lugar, que essa compreensão estaria dividida em dois subníveis consecutivos e hierárquicos: o subnível 3A e o subnível 3B.

No subnível 3A, denominado de Nível da Compreensão Conceitual Operatória, as respostas demonstraram uma compreensão ainda um pouco relacionada a aspectos operatórios concretos. Nesse subnível, verifiquei a presença de atitudes investigativas mais espontâneas, uma ampliação dos observáveis para as próprias operações, a coordenação de possibilidades, a criação de hipóteses mais gerais que consideram a totalidade do circuito e o estabelecimento de relações também mais gerais, embora ainda restritas à representação de objetos concretos, tais como as explicações numéricas, apresentadas anteriormente às explicações conceituais.

No subnível 3B, denominado de Nível da Compreensão Conceitual Formal, além de constatar os mesmos aspectos que integraram o subnível 3A, pude verificar que os argumentos demonstraram ser mais genéricos e se referir a representações e a conceitos científicos. Observei uma ampliação das relações para modelos mais virtuais, sobre representações, incluindo explicações que abrangem conceitos físicos e propriedades dos componentes e das grandezas físicas envolvidas no fenômeno.

Outro fato interessante, não previsto no início das investigações, foi ter identificado a necessidade da consolidação dos esquemas conceituais relativos aos circuitos elétricos lineares (PIAGET, 1990, p. 310), ou seja, a sua compreensão, bem como a necessidade do interesse dos sujeitos pelo tema abordado. Constatei que esses fatores influenciaram o desempenho dos sujeitos na construção de argumentos mais complexos, completos e sofisticados, ou seja, mais próximos do significado dos conceitos científicos.

Verifiquei que a insuficiência dos esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares dificultou a obtenção de novos observáveis que viessem a contribuir para as tomadas de consciência e para o alcance da compreensão do fenômeno em questão.

Da mesma forma, constatei que os sujeitos que não demonstraram muito interesse, curiosidade ou necessidade em resolver o problema da atividade experimental, mesmo que somente no início do seu trabalho, apresentaram bastante dificuldade na sua trajetória, visto que essa falta de interesse parece ter dificultado a constatação de novos observáveis, a ocorrência de contradições e descentrações e, conseqüentemente, as tomadas de consciência e o desenvolvimento de argumentações que demonstrassem a evolução da compreensão do fenômeno da redução do brilho da lâmpada.

Neste sentido, reitero que a descentração do ponto de vista é fundamental para o desenvolvimento da compreensão do fenômeno estudado, pois, embora inconsciente, está no âmago das questões centrais de aprendizagem, podendo ser potencializada pelo interesse do sujeito pelo tema abordado. Também constatei que, quanto menor a capacidade de descentração do estudante, ou seja, quanto mais egocêntrico for, mais dificuldades ele terá em sua trajetória para desenvolver a compreensão.

Uma segunda proposição era que se esperava que, de forma semelhante aos estudos de Inhelder, Bovet e Sinclair (1977, p. 58), se encontraria diferentes níveis em diferentes sujeitos, sugerindo uma ordem hierárquica e sequencial de etapas. Os resultados obtidos nesta investigação validaram a proposição pela constatação dos níveis e subníveis hierárquicos de compreensão do fenômeno da redução do brilho da lâmpada descritos.

Outra proposição é que se constataria, nesses níveis, certos obstáculos muito resistentes às mudanças e que poderiam ser degraus necessários entre esses momentos do desenvolvimento, que são as concepções alternativas, as dificuldades conceituais e as dificuldades de representação de circuitos elétricos (COELHO, 2007, 2011; DORNELES, 2005; GOUVEIA, 2007), o que também foi identificado nessa investigação.

Presumia-se que se esses obstáculos produziriam contradições entre as previsões ou julgamentos dos sujeitos e a constatação dos observáveis, e que esse fenômeno somente iria modificar o raciocínio dos sujeitos na medida em que eles tivessem construído uma estrutura que lhes permitisse a sua assimilação, da mesma forma como se imaginava que somente ocorreriam transposições se os conflitos cognitivos estivessem integralmente resolvidos. Essas situações puderam ser constatadas quando da dificuldade de compreensão do fenômeno da redução do brilho da lâmpada em virtude da insuficiência dos esquemas conceituais consolidados em relação aos circuitos elétricos lineares.

Pensava-se ver explicitadas nas respostas dos sujeitos as características do pensamento formal citadas por Inhelder e Piaget (1976, p. 188), tais como: referência a elementos verbais em oposição a objetos; raciocínio hipotético-dedutivo; lógica de proposições e autorreflexão da inteligência. Essas características foram identificadas nas argumentações dos sujeitos entrevistados, entretanto, verificou-se, em determinadas respostas, alguma semelhança com o que Inhelder e Piaget (1976, p. 249) relatam como “os resíduos do pensamento da criança que encontramos durante a adolescência”. Esses resíduos, no caso desta investigação, consistiram, basicamente, de respostas semelhantes às fabulações tais como as encontradas por Piaget (PIAGET, 2005, p. 16) em suas investigações com as crianças menores. Além disso, também foram identificados outros tipos de argumentações semelhantes às encontradas por Piaget em

sujeitos de diversas idades, tais como as respostas não importistas (PIAGET, 2005, p. 16); animismos (PIAGET, 2005, p. 176); fenomenismos (PIAGET, 1990, p. 368); e pré-conceitos (PIAGET, 1990, p. 291).

Encontrei, como esperado, nas respostas desses adolescentes, uma forma superior de egocentrismo caracterizado por uma indiferenciação entre o seu ponto de vista e o ponto de vista do outro, a qual se manifestou através de suas conceituações sobre os fenômenos, mediante respostas aos questionamentos. Verifiquei, em oposição ao esperado, que, para alguns sujeitos, esse egocentrismo não pode ser superado ao realizar as atividades propostas. Acredito que isso possa ter ocorrido em virtude de uma falta de interesse pelo tema ou de uma insuficiência na consolidação dos esquemas conceituais dos circuitos elétricos lineares.

Com relação às tomadas de consciência, pensava-se em identificá-las analisando as respostas aos questionamentos, bem como a conceituação do sujeito sobre o seu esquema de ação, o que realmente ocorreu. Por outro lado, em virtude da natureza do experimento, que exigia o raciocínio formal, não foi possível verificar a atuação de regulações automáticas, mas identifiquei a presença de regulações ativas que incluem a busca intencional de novos meios e escolhas deliberadas para a solução do problema, o que supõe a consciência.

Pensava-se, também, em identificar as tomadas de consciência através da formação de coordenações inferenciais, que não são constatadas pelo sujeito através dos observáveis, mas que são deduzidas de suas composições operatórias, extraídas das coordenações gerais de suas próprias ações, o que se demonstrou como possível e útil para a análise das respostas.

Como outra forma para constatar as tomadas de consciência, pretendia-se verificar se o sujeito reconhecia os meios empregados para a solução, os motivos de sua escolha e as razões de sua modificação enquanto realizava as atividades e ao elaborar o modelamento matemático, o que foi inferido através das respostas dos sujeitos aos questionamentos.

Além disso, pude identificar, ainda, tomadas de consciência espontâneas, que ocorreram com alguns sujeitos, em virtude de seus próprios questionamentos e reflexões sobre suas ações e operações no processo de interação com o objeto de estudo.

Uma situação interessante e não prevista ocorreu com relação à solução dos problemas escritos, na qual, apesar de aparentemente estarem utilizando o raciocínio lógico formal, os sujeitos apresentaram evidências de não compreenderem o que estavam fazendo nem as razões de fazerem. Acredito que essas situações se caracterizam por um “fazer sem compreender”, o que leva a se considerar a possibilidade de que a compreensão tenha alguma relação com um certo fazer sentido, ou seja, que, para haver a compreensão do fenômeno físico, os observáveis constatados tenham que ser assimilados com o mínimo de deformação

pelos esquemas conceituais do sujeito e que esses esquemas também tenham que se acomodar com um mínimo de distanciamento em relação ao significado dos conceitos físicos, de forma a garantir o estabelecimento da lógica e da coerência conceitual num todo fechado, completo.

Assim, com base nos resultados das entrevistas, pude constatar que a questão de pesquisa central desta Tese foi respondida, pois verifiquei que os processos cognitivos do sujeito se evidenciaram, ou se explicitaram, na aprendizagem dos conceitos de circuitos elétricos lineares, durante a entrevista sobre o experimento pilha-lâmpada-chuveiro, através do processo de compreensão do fenômeno da redução do brilho da lâmpada, quando da ligação de um chuveiro, modelado por uma resistência interna na pilha.

Em suma, verifiquei que a investigação desenvolvida nesta Tese foi profícua, pois possibilitou que se produzisse um conhecimento inicial dos processos cognitivos relativos à aprendizagem e à compreensão dos estudantes sobre o fenômeno da redução do brilho da lâmpada quando da ligação de um chuveiro, sobre a construção de relações implícitas em um fenômeno elétrico, e sobre os modelos utilizados nas explicações dos sujeitos.

Constatedei, ainda, que o processo de investigação e elaboração da Tese foi muito interessante e instrutivo, pois me permitiu fazer reflexões sobre o meu próprio pensamento e, assim, identificar a minha própria psicogênese da compreensão, tanto em relação aos conceitos de eletricidade e de epistemologia genética como no que diz respeito aos processos de aprendizagem dos estudantes sobre o tema.

Neste processo, pude identificar o desencadear de um movimento de interiorização e exteriorização na interação entre o Fernando pesquisador, como sujeito, e a própria pesquisa, enquanto objeto. Pude constatar a importância da ação sobre o objeto concreto, enquanto uma base sobre a qual se desenvolvem as representações virtuais e os conceitos.

De início, utilizando os esquemas conceituais construídos durante o estudo teórico nas disciplinas, elaborava hipóteses e as submetia a um teste empírico, tal como na elaboração do instrumento de coleta de dados e na submissão deste às entrevistas. A seguir, constatava e avaliava os observáveis, confrontando-os com o instrumento, com base, novamente, nos esquemas conceituais, e assim procedia às alterações e adequações necessárias.

Quando os esquemas conceituais não davam mais conta de elaborar novas hipóteses, estabelecer relações e proceder a inferências, mediante um delicado processo de descentração intelectual, e por assim dizer, emocional, submetia o instrumento primeiro a uma releitura dos referenciais teóricos, depois, a novos observáveis originados de uma busca a referenciais teóricos ainda não estudados, e, por fim, à apreciação e considerações do grupo de orientação e das professoras orientadoras. Assim, num movimento contínuo de assimilação e

acomodação, de interiorização e exteriorização, cheguei, naquele momento da pesquisa e após dez tentativas, a uma versão do instrumento de coleta de dados que considerei satisfatória, segundo critérios que fui criando durante a elaboração do próprio instrumento.

Verifiquei que esse mesmo processo ocorreu em quase todas as etapas em que tive que criar algo novo com vistas aos referenciais teóricos e aos resultados empíricos, como, por exemplo, na elaboração das categorias e dos níveis, na análise dos resultados e nas reflexões sobre a aprendizagem tecnológica.

Constatei que uma reflexão sobre os limites decorrentes dos procedimentos escolhidos poderá levar a novas pesquisas com uma segunda avaliação da aprendizagem/conceituação, após um intervalo de tempo, para averiguar a conservação das respostas alcançadas durante a entrevista desenvolvida nesta Tese.

Ao concluir a Tese e refletir sobre seus resultados e implicações educacionais, novos questionamentos surgiram, como, por exemplo: i) os resultados obtidos nesta Tese serão válidos em outros contextos (outros cursos técnicos ou até mesmo superiores) e se conservarão, podendo ser, então, generalizados?; ii) de que forma a contra-argumentação pode contribuir para a construção e conservação de respostas mais complexas?; iii) Como sistematizar o uso da contra-argumentação em sala de aula?; iv) Como os colegas docentes da área tecnológica acolherão e compreenderão estes dados de natureza psicopedagógica apresentados como subsídio às suas práticas?; v) Como esta proposta poderá ser integrada na formação dos docentes?; vi) de que modo os docentes em exercício compartilharão o pressuposto que o conhecimento do processo do aprendizagem dos alunos é uma base consistente para orientar a intervenção docente?

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Denise D.; ARAÚJO, Poliyana R.; DE SOUSA, Geida M. C.; RIBEIRO, Thayanna R. L. T.; BARROS, Maria Tarciana A.; SANTOS, Eucymara F. N.. **Fatores Psicológicos e Aprovação nas Disciplinas Básicas das Engenharias**. 2011. Trabalho apresentado no 39. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Blumenau, 2011.

ALMEIDA NETO, Francisco Araújo de; CASTRO, Thais Helena Chaves de; CASTRO JÚNIOR, Alberto Nogueira de. **Utilizando o Método Clínico Piagetiano para Acompanhar a Aprendizagem de Programação**. Universidade Federal do Amazonas: 2006. Disponível em <http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbie/2006/019.pdf>. Acesso em 24 de maio de 2013.

ARAÚJO, Francisco J. C.; DA SILVA, Giselle C.; SILVA, Renato V. C.; ADISSI, Paulo J.; MELO, Henio N. de S.; ARAÚJO, Marcos A. V.; **Dificuldades Encontradas por Iniciantes nos Cursos de Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco**. Artigo apresentado no XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, COBENGE 2007, realizado na cidade de Curitiba, 2007.

BALEN, Osvaldo; VILLAS-BOAS, Valquíria; CATELLI, Francisco. **Concepções Alternativas e Aprendizagem Ativa em um Contexto de Ensino – Aprendizagem de Circuitos Elétricos nas Físicas Introdutórias para Engenheiros**. Artigo apresentado no XXXVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, COBENGE 2008, realizado na cidade de São Paulo, 2008.

BALLARD, Edward; HODGSON-DRYSDALE, Tracy. **Explaining Electrical Circuits: a unit structured around inquiry activities teaches students to share results through written explanations**. Science and Children: abril e maio de 2011. Disponível em <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em 15 de abril de 2013.

BATTRO, Antonio M. **Dicionário Terminológico de Jean Piaget**. São Paulo: Pioneira, 1978.

BAZZO, Walter Antonio; BARETTA, Giulia; BOTEGA, Luiz Fernando de Carvalho; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale. **O Senhor Feynman não Estava Brincando: a educação tecnológica brasileira**. 2011. Trabalho apresentado no 39. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Blumenau, 2011.

BECKER, Fernando. Aprendizagem: reprodução, destino ou construção. In: MONTROYA, Adrián Oscar Dongo (Org.) *et al.* **Jean Piaget no Século XXI: escritos de epistemología e psicología genéticas**. São Paulo: Cultura Acadêmica; Marília: Oficina Universitária, 2011. p. 209-229.

BECKER, Maria Luiza Rheingantz.; FARIAS, Stela Maris Vaucher; FONSECA, André Augusto da. **Pesquisa em Sala de Aula**: da ação pura e simples para um “saber sobre”. *in* organizadores: BECKER, Fernando; MARQUES, Tania Beatriz Iwasko. **Ser Professor é Ser Pesquisador**. 2. ed. Porto Alegre: Mediação, 2010.

BORGES, A. Tarciso. **Como Evoluem os Modelos Mentais**. Ensaio – Pesquisa, Educação Ciências: 1999, vol. 1, nº 1, p. 85-125.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à Análise de Circuitos**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura. Secretaria da Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ensino Médio. Brasília: MEC/SEF, 2000. Disponível em: ftp://ftp.fnde.gov.br/web/pcn/05_08_ensino_medio.pdf. Acesso em: 29 nov. 2012.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura. Secretaria da Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: introdução aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: MEC/SEF, 1998. Disponível em: ftp://ftp.fnde.gov.br/web/pcn/05_08_introducao.pdf. Acesso em: 29 nov. 2012.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 2006. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02-internet.pdf. Acesso em: 29 nov. 2012.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Diretoria de Políticas de Educação Profissional e Tecnológica. **Catálogo Nacional dos Cursos Técnicos**. Brasília: Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, 2012. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12503&Itemid=841. Acesso em: 29 nov. 2012.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. **Educação Profissional e Tecnológica**: legislação básica. 6. ed. Brasília: Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, 2005.

CAMEL, Neusa J. C.; PACCA, Jesuína L. A.. **Concepções Alternativas em Eletroquímica e Circulação da Corrente Elétrica**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física: 2011. Disponível em www.sumarios.org. Acesso em 18 de março de 2013.

CHASSEIGNE, Gérard; GIRAUDEAU, Caroline; LAFON, Peggy; MULLET, Etienne. **Improving Students' Ability to Intuitively Infer Resistance from Magnitude of Current and Potential Difference Information: A functional learning approach.** © Instituto de Psicologia Aplicada, Lisboa, Portugal and Springer Science+Business Media BV 2010. Eur J Psychol Educ (2011). Disponível em <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em 15 de abril de 2013.

CHINN, C.A.; BREWER, W.F.. **The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition:** a theoretical framework and implications for science education. Review of Educational Research 63, p. 1-49, 1993.

COELHO, Geide Rosa. **A Evolução do Entendimento dos Estudantes em Eletricidade:** um estudo longitudinal. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 173 f. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

_____. **A Evolução dos Modelos Explicativos dos Estudantes sobre Circuitos Elétricos e sobre a Natureza da Luz em um Currículo Recursivo.** Belo Horizonte: UFMG, 2007. 236 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

COHEN, R.; EYLON, B.; GANIEL, U.. **Potencial Difference and Current in Simple Electric Circuits:** a study of student's concepts. American Journal of Physics, v. 51, n. 5, p. 407-412, maio de 1983.

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.

CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE), 35., 2007. Curitiba. 1 CD-ROM.

CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE), 36., 2008, São Paulo. **Anais.** 1 CD-ROM.

CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE), 37., 2009, Recife. **Anais.** 1 CD-ROM.

CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE), 38., 2010, Fortaleza. **Anais.** 1 CD-ROM.

CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE), 39., 2011, Blumenau. **Anais**. 1 CD-ROM.

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 Klaunig, p. 247-56, 1985.

CURI, Rosires Catão; FARIAS, Raliny Mota de Souza. **Métodos de Estudo e sua Influência no Desempenho dos Alunos em Disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral**. 2008. Trabalho apresentado no 36. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, São Paulo, 2008.

DE KLEER, I.; BROWN, I. **Assumptions and Ambiguities in Mechanistic Mental Models**. In: D. Gentner e A. Stelens (eds). *Mental Models*. Hillsdale: Erlbaum, p. 155-90, 1983.

DEGA, Bekele Gashe; KIEK, Jeanne; MOGESE, Temesgen Fereja. **Students' Conceptual Change in Electricity and Magnetism Using Simulations: a comparison of cognitive perturbation and cognitive conflict**. *Journal of Research in Science Teaching*: volume 50, 6ª edição, p. 677-698, agosto de 2013.

DELVAL, Juan. **Introdução à Prática do Método Clínico**: descobrindo o pensamento das crianças. Porto Alegre: Artmed, 2002.

_____. *Aprender Investigando*. in organizadores: BECKER, Fernando; MARQUES, Tania Beatriz Iwasko. **Ser Professor é Ser Pesquisador**. 2. ed. Porto Alegre: Mediação, 2010.

DESLANDES, Suely Ferreira *et al*. **Pesquisa Social**: teoria, método e criatividade. 14. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 1999.

DO CARMO, Breno Barros Telles; BAROSSO, Suelly Helena de Araújo; ALBERTIN, Marcos Ronaldo. **Avaliação dos Estilos de Aprendizagem dos Alunos das Disciplinas de PCP e Logística**. 2010. Trabalho apresentado no 38. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Fortaleza, 2010.

DO CARMO, Breno Barros Telles; PONTES, Heráclito Lopes Jaquaribe; PITONBEIRA, Anselmo Ramalho. **Percepção Discente do Ensino de Estatística no Curso de Engenharia de Produção Mecânica**: algumas proposições. 2010. Trabalho apresentado no 38. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Fortaleza, 2010.

DORF, Richard C.; SVOBODA, James A.. **Introdução aos Circuitos Elétricos**. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

DORNELES, Pedro Fernando Teixeira. **Investigação de Ganhos na Aprendizagem de Conceitos Físicos Envolvidos em Circuitos Elétricos por Usuários da Ferramenta Computacional MODELLUS**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DRIVER, R.. **Changing Conceptions**. In: P. Adey, Ed., Adolescent development and school science. London: Falmer Press, p.79-99, 1989.

DUIT, Reinders; VON RHÖNECK, Christoph. **Learning and Understanding Key Concepts of Electricity**. In: TIBERGHIE, A.; JOSSEM, E. L.; BARAJOS, J. (Eds.). Connecting research in physics education with teacher education. International Commission on Physics Education: 1997, 1998. Disponível em <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/>. Acesso em 22 de abril de 2013.

FREDERIKSEN, John R.; WHITE, Barbara Y.; GUTWILL, Joshua. **Dynamic Mental Models in Learning Science: the importance of constructing derivational linkages among models**. Journal of Research in Science Teaching: 1999. Disponível em <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em 15 de abril de 2013.

FUNDAÇÃO ESCOLA TÉCNICA LIBERATO SALZANO VIEIRA DA CUNHA. **Plano do Curso Técnico de Eletrônica Integrado ao Ensino Médio**. Novo Hamburgo, 2010. 99 p.

GAULD, C.. **A Study of Pupils' Responses to Empirical Evidences**. In: R. Millar, Ed., Images of Science in Science Education. London, UK: Falmer Press, p.62-82, 1989.

GODBAY, Susan; BARBETT, Jessica; WEBSTER, Lois. **Electrifying Inquiry (electrical circuits)**. Science Activities: 2005. Disponível em <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em 15 de abril de 2013.

GOUVEIA, Amandio Augusto. **Dificuldades de Aprendizagem Conceitual em Circuitos Elétricos Reveladas por Meio de Desenhos**. Londrina: UEL, 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

GRAYSON, D.. **Improving Science and Mathematics Learning by Concept Substitution**. In: D. Treagust, R. Duit e B. Fraser (Eds.), Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics. New York: Teacher College Press, p. 152-161, 1996.

GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio. **The kinds of Mental Representations – Models, Propositions and Images – Used by College Physics Students Regarding the Concept of Field.** Int. J. Sci. Educ. vol. 19, nº 6, p. 711 a 724, em 1997.

GROB, K.; LOMPSCHER, B.; RHÖNECK, C.; VON SCHNAITMANN, G.W.; VOLKER, B.. **Cognitive Abilities, Motives, Learning Strategies and Social Interactions as Components of Long-term Learning in Basic Electricity.** In: H. -J. Schmidt, Ed., Problem Solving and Misconceptions in Chemistry and Physics. Proceedings of the 1994 International Seminar, University of Dortmund. Petersfield, UK: ICASE Publications, p.174-183, 1994.

GUERRA-RAMOS, Maria Teresa. **Analogies as Tools for Meaning Making in Elementary Science Education:** how do they work in classroom settings? Journal of Mathematics, Science & Technology Education: 2011. Disponível em <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em 08 de abril de 2013.

GUSSOW, Milton. **Eletricidade Básica.** Tradução José Lucimar do Nascimento. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

GUZZETTI, B.J.; GLASS, G.V.. **Promoting Conceptual Change in Science:** a comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, abril de 1992.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física, volume 3: eletromagnetismo.** Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

HART, Christina. **Models in Physics, Models for Physics Learning, and Why the Distinction May Matter in the Case of Electric Circuits.** Res Sci Educ: 2008, p. 529 a 544. Disponível em <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em 15 de abril de 2013.

HIPPERT, Maria Aparecida S.; NUNES, Roberta P. C.; NAZARETH, Veridianne Soares. **Estilos de Aprendizagem e a Conclusão do Curso de Engenharia Civil:** um estudo de caso. 2010. Trabalho apresentado no 38. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Fortaleza, 2010.

INHELDER, Bärbel; BOVET, Magali; SINCLAIR, Hermine. **Aprendizagem e Estruturas do Conhecimento.** Tradução de Maria Aparecida Rodrigues Cintra e Maria Yolanda Rodrigues Cintra. São Paulo: Saraiva, 1977.

INHELDER, Bärbel; PIAGET, Jean. **Da Lógica da Criança à Lógica do Adolescente: ensaio sobre a construção das estruturas operatórias formais**. São Paulo: Pioneira, 1976.

INHELDER, Bärbel.; PIAGET, Jean.. **Growth of Logical Thinking**. London: Routledge. 1958.

JOHNSON-LAIRD, P.. **Mental Models**. Cambridge: Cambridge University Press. 1983.

_____. **Mental Models**. In: M. Posner (ed.) *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge: MIT Press, p. 469-99, 1990.

JOHNSTONE, A. H.; MUGHOL, A. R.. **The Concept of Electrical Resistance**. Publicado em iopscience.iop.org em 1978. Disponível em <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em 15 de abril de 2013.

JUNG, W. **Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie**. (Everyday Conceptions and Learning Physics). *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie* 34, p. 2-6, abril de 1986.

_____. **Hilft die Entwicklungspsychologie dem Naturwissenschaftsdidaktiker**. (Is developmental psychology of any help for a physics educator?). In: R. Duit e W. Graber, Eds., *Kognitive Entwicklung und Lernen der Naturwissenschaften*. Keil, Germany: p. 86-108, 1993.

KLAJN, Susana. **Aprendizagem do Adolescente: reconstituição do expoente 1 – na forma invisível**. Porto Alegre: UFRGS, 2011. 311 f. Tese (Doutorado em Educação) - Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

KÜÇÜKÜZER, Hüseyin; KOCAKÜLAH, Sabri. **Effect of Simple Electric Circuits Teaching on Conceptual Change in Grade 9 Physics Course**. *Journal of Turkish Science Education*: 2008. Disponível em <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em 08 de abril de 2013.

LI, S.C.; LAW, N.; LUI, F.A.. **Cognitive Perturbation Through Dynamic Modeling: a pedagogical approach to conceptual change in science**. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22 (6), p. 405-422, 2006.

LICHT, Pieter. **Teaching Electrical Energy, Voltage and Current: an alternative approach.** Publicado em iopscience.iop.org em 1991. Disponível em <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em 15 de abril de 2013.

LIÉGEOIS, L.; CHASSEIGNE, G.; PAPIN, S.; MULLET, E.. **Improving High School Students' Understanding of Potential Difference in Simple Electric Circuits.** International Journal of Science Education, 25, p. 1129–1145, 2003.

LODER, Liane Ludwig. **O Aluno da Engenharia Bem Sucedido: vocação, talento ou *hard work*?** 2008. Trabalho apresentado no 36. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, São Paulo, 2008.

_____. **O Aluno de Engenharia Elétrica: algumas considerações sobre suas expectativas, competências e trajetórias escolares.** 2009. Trabalho apresentado no 37. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Recife, 2009a.

_____. **O Engenheiro Eletricista em Formação: algumas considerações sobre as competências construídas.** 2009. Trabalho apresentado no 37. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Recife, 2009b.

_____. **Engenheiro em Formação: o sujeito da aprendizagem e a construção do conhecimento em engenharia elétrica.** Porto Alegre: UFRGS, 2009. 320 f. Tese (Doutorado em Educação) - Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009c.

_____. **A Formação de Identidades e a Construção de Saberes em um Curso de Engenharia Elétrica.** 2010. Trabalho apresentado no 38. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Fortaleza, 2010.

MACEDO, Lino de. **Ensaio Construtivistas.** 6. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2010.

MARQUES, Tânia Beatriz Iwaszko. **Do Egocentrismo à Descentração: a docência no ensino superior.** Porto Alegre: UFRGS, 2005. 264 f. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MELLO, Sílvio Quintino de. **O Ensino de Matemática e a Educação Profissional: a aplicabilidade dos números complexos na análise de Circuitos Elétricos.** Canoas: ULBRA, 2005. 159 f. Dissertação (Mestrado de Ensino de Ciências e Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2005.

MONTANGERO, Jacques; MAURICE-NAVILLE, Danielle. **Piaget ou a Inteligência em Evolução**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

MULHALL, P.; MCKITTRICK, B.; GUNSTONE, R.. **A Perspective on the Resolution of Confusions in the Teaching of Electricity**. *Research in Science Education*, 31, p. 575–587, 2001.

NERSESSIAN, N.. **Construction and Instructing; The Role of “Abstract Techniques” in Creating and Learning Physics**. In: R. Duschl e R. Hamilton (eds). *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice*. New York: SUNY Press, p. 49-68. 1992b.

_____. **How do Scientists think? Capturing the Dynamics of Conceptual Science**. In *Cognitive World of Science*. v. 15: *Minnesota Studies in Philosophy of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press, p. 3-44. 1992a.

NETO, Francisco Araújo de Almeida; CASTRO, Thais Helena Chaves de; CASTRO JÚNIOR, Alberto Nogueira de. **Utilizando o Método Clínico Piagetiano para Acompanhar a Aprendizagem de Programação**. Disponível em <http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbie/2006/019.pdf>. Acesso em 26 de maio de 2013.

NEWBURGH, R. G.. **Capacitors, Water Bottles and Kirchhoff’s Loop Rule**. *Phys. Teach.*, 31, p. 16-17, 1993.

OH, Jun-Young. **Using an Enhanced Conflict Map in the Classroom (Photoelectric Effect) Based on Lkatosian Heuristic Principle Strategies**. *International Journal of Science and Mathematics Education*: 2011. Disponível em <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em 08 de abril de 2013.

OSBORNE, R.. **Towards Modifying Children’s Ideas About Electric Current**.. *Research in Science and Technology Education*, v.1, n.1, p. 73-82, 1983.

PACCA, Jesuína L. A; FUKUI, Ana; BUENO, Maria Christina F.; COSTA, Regina Helena P.; VALÉRIO, Rosa M.; MANCINI, Sueli. **Corrente Elétrica e Circuito Elétrico: algumas concepções do senso comum**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*: 2003. Disponível em <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/search/advancedResults>. Acesso em 25 de março de 2013.

PIAGET, Jean. **Biologie et Connaissance: essai sur les relations entre les régulations organiques et les processus cognitifs**. Paris: Gallimard, 1967a.

_____. **Desenvolvimento e Aprendizagem.** Texto traduzido por Paulo Francisco Slomp do original incluído no livro de: LAVATTELLY, C. S. e STENDLER, F. Reading in child behavior and development. New York: Hartcourt Brace Janovich, 1972a. Que, por sua vez, é a reimpressão das páginas 7-19 de: RIPPLE R. e ROCKCASTLE, V. Piaget rediscovered. Cornell University, 1964. Disponível em http://livrosdamara.pbworks.com/f/desenvolvimento_aprendizagem.pdf. Acesso em: 02 jan. 2013.

_____. **Epistemologia Genética.** 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

_____. **Evolução Intelectual da Adolescência à Vida Adulta.** Tradução de Tania Beatriz Iwazsko Marques e Fernando Becker. Publicado em inglês sob o título: Intellectual Evolution from Adolescence to Adulthood, pela Human Development, 15:1-12, 1972b.

_____. **Fazer e Compreender.** São Paulo: Melhoramentos, Editora da Universidade de São Paulo, 1978.

_____. **A Formação do Símbolo na Criança.** 3. edição. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1990.

_____. A Teoria de Piaget. In: CARMICHAEL, Leonard. **Manual de Psicologia da Criança.** São Paulo: EPU, EDUSP, 1975. v. 4, Desenvolvimento Cognitivo I.

_____. **Para Onde Vai a Educação?** 8. ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1984.

_____. **Psicologia da Inteligência.** 2. ed. Lisboa: Editora Fundo de Cultura S.A., 1967b.

_____. **Psicologia e Pedagogia:** a resposta do grande psicólogo aos problemas do ensino. 2. ed. São Paulo: Editora Forense, 1972c.

_____. **A Representação do Mundo na Criança:** com o concurso de onze colaboradores. 2. ed. Aparecida: Idéias & Letras, 2005.

_____. **Sobre a Pedagogia:** textos inéditos. São Paulo: Casa do Psicólogo, 1998.

_____. **A Tomada de Consciência.** São Paulo: Melhoramentos, Editora da Universidade de São Paulo, 1977.

PIAGET, Jean; GARCIA, Rolando. **Psicogênese e História das Ciências**. Lisboa: Publicações Dom Quixote Lda., 1987.

PIAGET, Jean; GRÉCO, Pierre. **Aprendizagem e Conhecimento**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1974.

PIEMOLINI-BARRETO, Luciani Tatsch; SANDRI, Ivana Greice. **Análise do Perfil de Aprendizagem dos Alunos de Engenharia de Alimentos da Universidade de Caxias do Sul**. 2011. Trabalho apresentado no 39. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Blumenau, 2011.

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. 66, p. 211-227, 1982.

POZO, J. I.. **Las Solución de Problemas**. Madrid: Ed. Santillana. 1994.

PUNHAGUI, Kátia; JOHN, Vanderley M.. **Avaliação dos Fatores que Podem Influenciar no Aprendizado do Aluno – Grupo de Amostragem**: alunos do terceiro ano. 2011. Trabalho apresentado no 39. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Blumenau, 2011.

ROSA, Suélia de S. Rodrigues Fleury; GARCIA, Euler de Vilhena; ANVAME-NZE, Georges. **A Aprendizagem na Disciplina de Elementos e Métodos em Eletrônica**. Artigo apresentado no XXXVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, COBENGE 2009, realizado na cidade de Recife, Pernambuco.

SARUBBI, Pedro Antonio; SOARES, Flávia. **Investigando Dificuldades de Alunos de Cálculo em Problemas de Taxas Relacionadas**. 2009. Trabalho apresentado no 37. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Recife, 2009.

SHIPSTONE, D. M.. **Electricity in Simple DC Circuits**. In: R. HOWREPEAT, E. GUESNE e A. TIBERGHIE (eds). Children's Ideas in Science. Milton Keynes: Open University Press, p. 33-51, 1985b.

_____. **On Children's Use of Conceptual Models in Reasoning About Electricity Aspects of Understanding Electricity**. ed R. Duit *et al.* IPN, Kiel: Vertrieb Schmidt and Klauning, p. 73-82, 1985a.

_____. **Pupils' Understanding of Simple Electrical Circuits: Some Implications for Instruction.** Publicado em iopscience.iop.org em 1988. Disponível em <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em 15 de abril de 2013.

_____. **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.; GUNSTONE, R. F.. **Teaching Children to Discriminate Between Current and Energy.** In: Duit R. *et al* (eds). *Aspects of Understanding Electricity*. Kiel: Vertrieb Schmidt and Klaunig, p. 287-97, 1985.

SILVA, Viviane Costa; TAKAHASHI, Ricardo Hiroshi Caldeira; PINTO, Márcia Maria Fusaro. **Aprendizagem de Conceitos Científicos em um Curso de Engenharia Elétrica: o Caso do Princípio da Superposição.** *Revista de Ensino de Engenharia*: 2012, p. 13 a 23. Disponível em <http://www.upf.br/seer/index.php/ree/article/view/1043>. Acesso em 04 de março de 2013.

SMITH, David P.; van KAMPEN, Paul. **A Qualitative Approach to Teaching Capacitive Circuits.** *Physics Education Research Section: American Association of Physycs Teachers*, 2013.

STETZER, Mackenzie R.; van KAMPEN, Paul; SCHAFFER, Peter S.; McDERMOTT, Lilian C.. **New Insights into Student Understanding of Complete Circuits and the Conservation of Current.** *Physics Education Research Section: American Association of Physics Teachers*, v. 81, n. 2, fevereiro de 2013, p. 134 a 143.

STOCKLMAYER, S. M.; TREAGUST, D. F.. **Images of Electricity: how do novices and experts model electric current?** *International Journal of Science Education*, 18(2), p. 163–178, 1996.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros: eletricidade e magnetismo, óptica.** Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

TORRES, Carlos Magno A.; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antonio de Toledo. **Física – Ciência e Tecnologia:** volume 1. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2010.

VINNER, S. **The Role of Definitions in the Teaching and Learning of Mathematics.** In: TALL, D. *Advanced Mathematical Thinking*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p. 65-81, 1991.

VYGOTSKY , L. S. **Psicologia Pedagógica**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

WHITE, R.; GUNSTONE, R.. **Probing Understanding**. London: Falmer Press, 1992.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZERO HORA. Porto Alegre, 29 mai. 2014, p. 3

APÊNDICES

APÊNDICE A – Trabalhos e Objetivos

Tabela 4 – Trabalhos e Objetivos

AUTOR/ANO	OBJETIVO
Congresso (2008) (Balen; Villas-Boas; Catelli)	Investigar as concepções dos estudantes sobre conceitos elétricos em um circuito série.
Gouveia (2007)	Verificar o potencial do desenho livre para apontar as dificuldades de compreensão
Coelho (2007)	Investigar a evolução dos modelos explicativos e identificar o patamar de entendimento dos estudantes
Coelho (2011)	Investigar se os estudantes evoluem no entendimento dos conceitos e quais fatores contribuem
Caramel e Pacca (2011)	Investigar concepções microscópicas sobre corrente
Pacca <i>et al</i> (2003)	Estudar concepções corrente elétrica do ponto de vista da estrutura dos materiais e das fontes de energia
Küçüküzer e Kocakulah (2008)	Examinar efeitos do ensino baseado no construtivismo sobre os erros conceituais e mudanças de concepções
Oh (2011)	Estudar o uso de um mapa para explicitar os conflitos e assim favorecer a integração do conhecimento científico
Guerra-Ramos (2011)	Propor analogias para auxiliar no aprendizado
Godbey, Barnett e Webster (2005)	Comparar o aprendizado e o engajamento dos estudantes entre uma atividade original e uma versão investigativa
Ballard e Hodgson-Drysdale (2011)	Descrever uma investigação em unidade de estudo onde estudantes compartilham resultados dos problemas.
Licht (1991)	Apresentar uma abordagem para ensinar baseada em níveis hierárquicos de conhecimento
Johnstone e Mughol (1978)	Analisar a compreensão do conceito de resistência considerando outras grandezas e os níveis de evolução.
Frederiksen, White e Gutwill (1999)	Analisar experimento de eletricidade elaborado com base nos modelos de compreensão dos estudantes
Chasseigne <i>et al.</i> (2011)	Investigar as concepções dos estudantes sobre as relações entre diferença de potencial, corrente e resistência.
Hart (2008)	Comparar modelos científicos com modelos de ensino
Shipstone (1988)	Apresentar modelos de aprendizagem de conceitos de circuitos elétricos, corrente e energia elétrica.
Stetzer <i>et al.</i> (2013)	Investigar como dificuldades com o conceito de circuito fechado impactam no estudo de circuitos complexos.
Smith e van Kampen (2013)	Investigar entendimento de circuitos corrente contínua com capacitor através do modelo fenomenológico.
Dega, Kiek e Mogese (2013)	Comparar mudanças conceituais na Simulação de Perturbação Cognitiva com a Simulação de Conflito.
Greca e Moreira (1997)	Investigar níveis de representação mental que estudantes operam conceitos de campo eletromagnético.
Borges (1999)	Verificar como os modelos mentais evoluem à medida em que se adquire maior compreensão e experiência.
Duit e Von Rhöneck (1997)	Discutir concepções de eletricidade e dificuldade de aprender
Silva, Takahashi e Pinto (2012)	Identificar definições e imagens conceituais formadas em relação ao modo como o conceito foi ensinado.

APÊNDICE B – Combinações de Palavras-Chave

Tabela 5 – Combinação com Verbo no Final (Elec... Circ... ...)

Electrics	Electric	Electrical	Circuit	Circuits	Learning	Teaching	Understanding	Knowledge
		X		X				
	X			X				
X				X				
		X	X					
	X		X					
X			X					

Exemplo 1: na linha 2, colunas 3, 5 e 6 resulta “Electrical Circuits Learning”

Exemplo 2: na linha 2, colunas 3, 5 e 7 resulta “Electrical Circuits Teaching”

Tabela 6 – Combinação com Verbo no Início (... Elec... Circ...)

Learning of	Teaching of	Understanding of	Knowledge of	Electrics	Electric	Electrical	Circuit	Circuits
						X		X
					X			X
				X				X
						X	X	
					X		X	
X			X					

Exemplo: na linha 2, colunas 1, 7 e 9 resulta “Learning of Electrical Circuits”

Exemplo: na linha 2, colunas 2, 7 e 9 resulta “Teaching of Electrical Circuits”

APÊNDICE C – Classificação dos Trabalhos

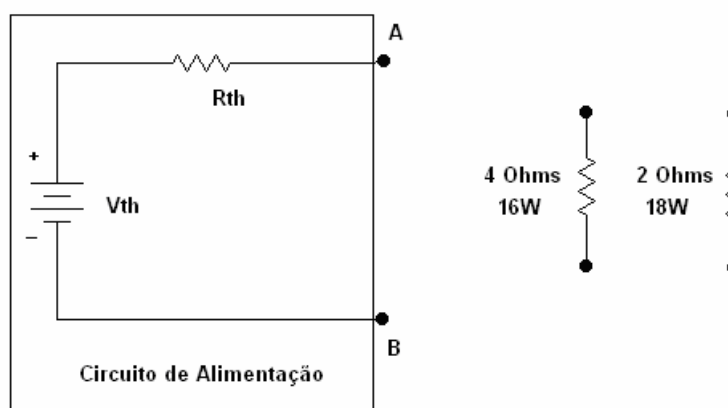
Tabela 7 – Classificação dos Trabalhos

CLASSE	AUTOR/ANO	FONTE
Dificuldades de aprendizagem	Gouveia (2007)	Banco de Teses
	Stetzer <i>et al.</i> (2013)	Fontes Diversas
Modelos de aprendizagem e concepções	Balen; Villas-Boas; Catelli.	Congresso 2008
	Coelho (2007)	Banco de Teses
	Coelho (2011)	
	Caramel e Pacca (2011)	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
	Pacca <i>et al</i> (2003)	
	Küçüküzer e Kocakulah (2008)	Portal de Periódicos da CAPES nos 5 anos mais recentes.
	Oh (2011)	
	Guerra-Ramos (2011)	
	Godbey, Barnett e Webster (2005)	Portal de Periódicos da CAPES sem limite de tempo.
	Ballard e Hodgson-Drysdale (2011)	
	Licht (1991)	
	Johnstone e Mughol (1978)	
	Frederiksen, White e Gutwill (1999)	
	Chasseigne <i>et al.</i> (2011)	
	Hart (2008)	
	Shipstone (1988)	
	Smith e van Kampen (2013)	Fontes Diversas
	Dega, Kiek e Mogese (2013)	
	Greca e Moreira (1997)	
	Borges (1999)	
Duit e Von Rhöneck (1997)		
Silva, Takahashi e Pinto (2012)		

APÊNDICE D – Atividade Apresentada no Estudo Preliminar

Nome: _____

Sabe-se que um resistor que possui o valor de 4Ω dissipa $16W$ de potência quando somente ele estiver conectado aos pontos “A” e “B” de saída de um circuito elétrico de alimentação, conforme pode-se ver na figura abaixo. No entanto, quando, neste mesmo circuito elétrico de alimentação, estiver conectado somente o resistor de 2Ω , este irá dissipar $18W$. Considerando que este circuito elétrico de alimentação pode ser representado por uma fonte de tensão (V_{th}) com um resistor em série (R_{th}), calcule estes valores.



Obs.: apresente todos os cálculos efetuados, de forma bem detalhada, passo a passo, explicando o que você fez em cada passo, porque escolheu cada equação e porque achou que este caminho o levaria a solução do problema.

APÊNDICE E – Termo de Autorização para Realização da Pesquisa

Prezado(a) Diretor(a) da
 Professor (a)

Nós, Prof.^a Maria Luiza R. Becker, orientadora do PPGEDU-UFRGS, e Prof.^a Liane Ludwig Loder, coorientadora, do Programa de Pós-Graduação em Educação – FACED e o doutorando Fernando Bittencourt Freiesleben autor do projeto de tese intitulado: “Construção de conhecimento na área tecnológica: estudo de casos múltiplos sobre a temática circuitos elétricos”, viemos através deste documento solicitar a autorização do (a) prezado (a) Diretor (a) para que o projeto de pesquisa possa ser desenvolvido nesta Instituição de Ensino.

Como pesquisador, o doutorando pretende identificar como estudantes do terceiro ano do ensino médio do Curso Técnico em Eletrônica relacionam causa e efeito, observadas em um experimento prático de circuitos elétricos lineares, submetidos a diferentes condições de funcionamento e o seu respectivo modelo teórico.

O procedimento metodológico utilizado consistirá de três etapas, todas desenvolvidas em horários extra-classe, nas dependências da Escola e com duração máxima prevista de uma hora. A primeira etapa consistirá da realização de uma atividade prática relacionada a circuitos elétricos lineares, de mesma natureza das que são realizadas no decorrer do curso, a ser executada individualmente, na qual o pesquisador irá acompanhar e questionar a sua execução. Na segunda, será aplicada uma atividade escrita, de forma coletiva, após a atividade prática, contendo uma situação-problema idêntica a da atividade anterior. Na terceira etapa, será realizada uma entrevista individual, após a atividade escrita, que servirá para conhecer a forma utilizada para a resolução do problema em questão.

As entrevistas realizadas durante a atividade prática e ao final da atividade escrita serão gravadas, entretanto o entrevistado terá assegurado a preservação de sua identidade em sigilo, pois o pesquisador organizará códigos de acesso pessoal para se referir a estes dados, os quais não estarão vinculados à identidade do entrevistado.

Será feito um convite oral em sala de aula e a participação deverá ser espontânea, havendo a devida liberdade para que o(a) entrevistado(a) se recuse a participar ou retire seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização ou prejuízo algum. Antes de iniciar as atividades os participantes e seus responsáveis receberão todas as informações relativas à pesquisa e terão que dar sua anuência assinando um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O pesquisador também estará disponível, a qualquer tempo, para prestar todos os esclarecimentos às partes envolvidas sobre os procedimentos e demais assuntos relacionados com esta pesquisa. Os riscos serão os inerentes aos instrumentos utilizados.

Os resultados encontrados poderão ser divulgados, na forma de artigos e apresentação oral ou escrita em eventos científicos-acadêmicos, respeitando-se o compromisso de manter incógnita a identidade dos envolvidos com esta pesquisa. Contato telefônico para esclarecimentos, se necessários: 33083428 (PPGEDU/FACED/UFRGS).

Fernando Bittencourt Freiesleben (doutorando).....

Prof.^a Dra. Maria Luiza R. Becker (Orientadora)

Prof.^a Dra. Liane Ludwig Loder (Coorientadora).....

Declaro que fui devidamente informado sobre a pesquisa e autorizo sua realização na Escola.

Data: Assinatura:

APÊNDICE F – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Autorizo meu (minha) filho (a) a participar da pesquisa intitulada: “Construção de conhecimento na área tecnológica: estudo de casos múltiplos sobre a temática circuitos elétricos”, realizada pelo Professor Fernando Bittencourt Freiesleben, doutorando em Educação na UFRGS, sob a orientação da Professora Maria Luiza R. Becker e coorientação da Professora Liane Ludwig Loder, durante o ano de 2013.

Declaro estar ciente de que a pesquisa tem por objetivo identificar como os estudantes do terceiro ano do ensino médio do Curso Técnico em Eletrônica relacionam causa e efeito, observadas em um experimento prático de circuitos elétricos lineares submetidos a diferentes condições de funcionamento, e o seu respectivo modelo teórico.

Declaro ter conhecimento de que o procedimento metodológico utilizado consistirá de três etapas, todas desenvolvidas em horários extra-classe, nas dependências da Escola e com duração máxima prevista de uma hora. A primeira etapa consistirá da realização de uma atividade prática relacionada a circuitos elétricos lineares, de mesma natureza das que são realizadas no decorrer do curso, a ser executada individualmente, na qual o pesquisador irá acompanhar e questionar a sua execução. Na segunda, será aplicada uma atividade escrita, de forma coletiva, após a atividade prática, contendo uma situação-problema idêntica a da atividade anterior. Na terceira etapa, será realizada uma entrevista individual, após a atividade escrita, que servirá para conhecer a forma utilizada para a resolução do problema em questão.

Estou ciente de que as entrevistas realizadas durante a atividade prática e ao final da atividade escrita serão gravadas, e que ao entrevistado será assegurada a preservação de sua identidade em sigilo, pois o pesquisador organizará códigos de acesso pessoal para se referir a estes dados, os quais não estarão vinculados à identidade do entrevistado.

Tenho o conhecimento de que a participação de meu (minha) filho (a) deverá ser espontânea, havendo a devida liberdade para que ele (a) se recuse a participar ou retire seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado, e que receberei as informações que solicitar sobre os procedimentos e demais assuntos relacionados com esta pesquisa. Os riscos serão os inerentes aos instrumentos utilizados.

Autorizo, também, a divulgação dos resultados encontrados, na forma de artigos e apresentação oral ou escrita em eventos científicos-acadêmicos, respeitando-se o compromisso de manter incógnita a identidade do (a) meu (minha) filho (a) e assim concordo com a manutenção do caráter confidencial das informações registradas relacionadas com a privacidade dos participantes da pesquisa. Contato telefônico para esclarecimentos, se necessários: 33083428 (PPGEDU/FACED/UFRGS).

Aluno:Assinatura:.....

Responsável:Assinatura:

Data:

APÊNDICE G – Experimentos Iniciais (Projeto da Tese)

Figura 14 – Experimento Inicial com Bateria de 9V e Lâmpada de 6V x 250mA

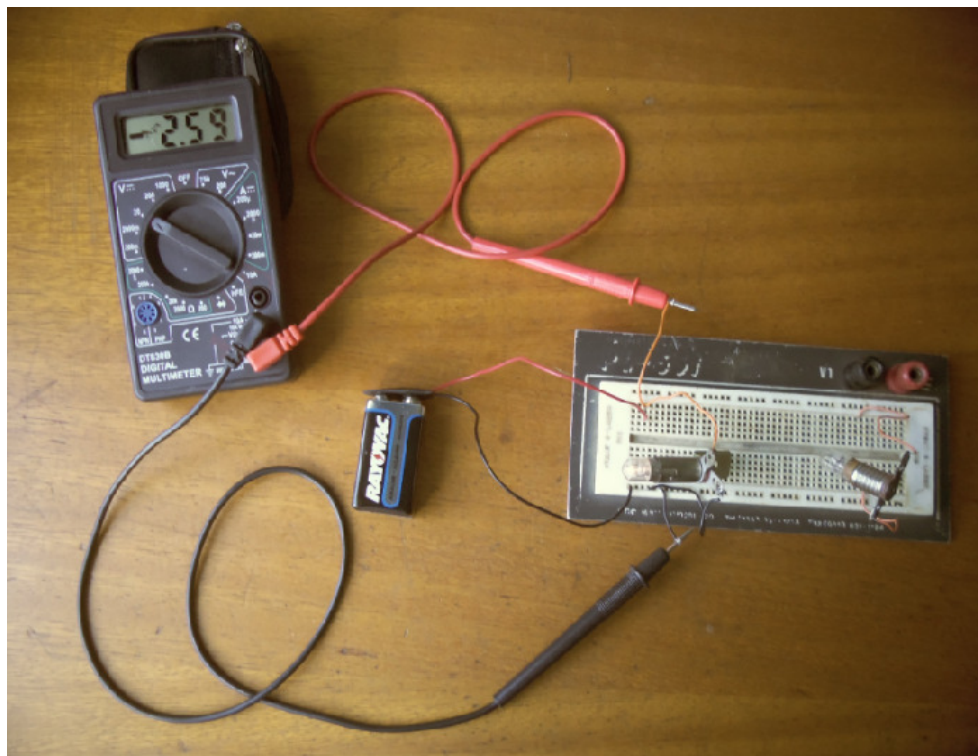
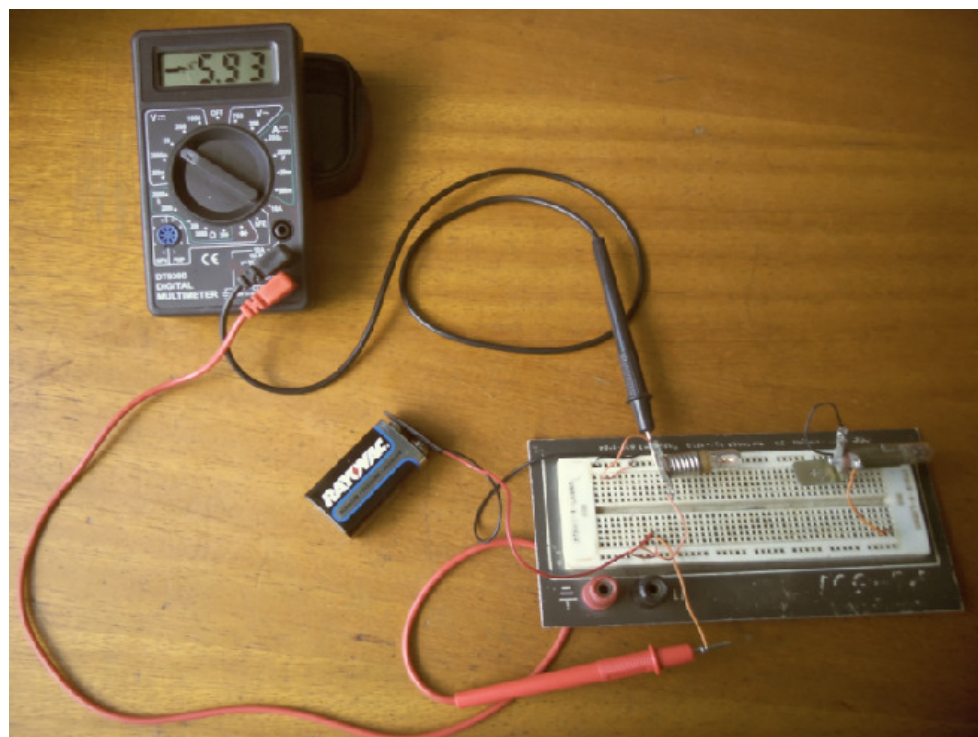


Figura 15 – Experimento Inicial com Bateria de 9V e Lâmpada de 6V x 40mA



APÊNDICE H – Roteiro Inicial de Perguntas

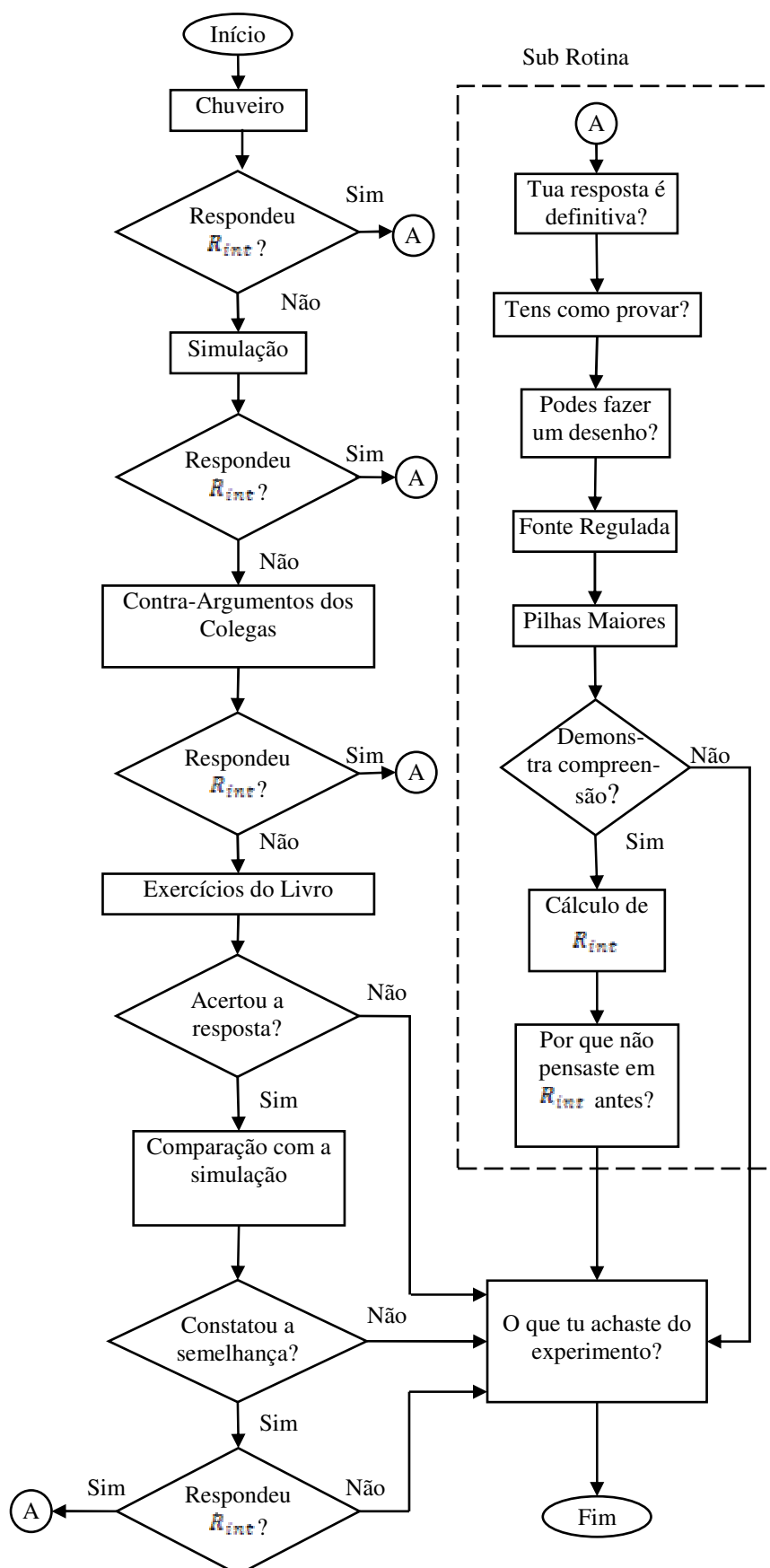
1. A que fator você atribui o fato de a tensão da fonte mudar de valor quando se troca de lâmpada? Explique.
2. Como você modelaria matematicamente cada uma destas situações? Explique.
3. Como você faria para descobrir qual o valor de tensão desta fonte? Explique.
4. É possível estabelecer algum tipo de relação entre os dois modelos? Qual? Explique.

APÊNDICE I – Questões Norteadoras das Intervenções (nona versão)

1. Tu já observaste se acontece alguma coisa quando uma pessoa liga o chuveiro elétrico quando a lâmpada do banheiro está ligada? O que?
2. É possível simular o fenômeno da redução do brilho da lâmpada com esses componentes que temos aqui? Como tu farias para simular esse fenômeno?
3. Como tu explicas a redução do brilho da lâmpada?
4. Tu poderias fazer um desenho do circuito? Como tu explicas a redução do brilho da lâmpada através do desenho?
5. Se o cálculo mostrou que a corrente na lâmpada não diminui, então como tu explicas a redução do brilho da lâmpada?
6. Porque tu achas que ocorreu essa queda de tensão?
7. Um colega teu me disse que a fonte funciona como um capacitor. O que tu pensas sobre isso?
8. Outro colega teu me falou que a fonte possui uma resistência interna. O que tu pensas sobre isso?
9. Já um outro colega me afirmou que a tensão cai devido à temperatura. O que tu pensas sobre isso?
10. Outro colega me garantiu que a tensão cai porque a fonte tem um limite de corrente. O que tu pensas sobre isso?
11. Como tu poderias provar essa tua argumentação?
12. Se fosse utilizada essa fonte de tensão regulada no lugar das pilhas, esse fenômeno da redução do brilho da lâmpada também ocorreria? Por quê? É possível simular a redução do brilho da lâmpada com essa fonte regulada? Como?
13. Se fossem utilizadas essas pilhas maiores no lugar das pilhas pequenas, esse fenômeno da redução do brilho da lâmpada também ocorreria? Por quê?
14. Tu achas que é possível calcular o valor dessa resistência interna da pilha? Como tu farias para calcular essa resistência?

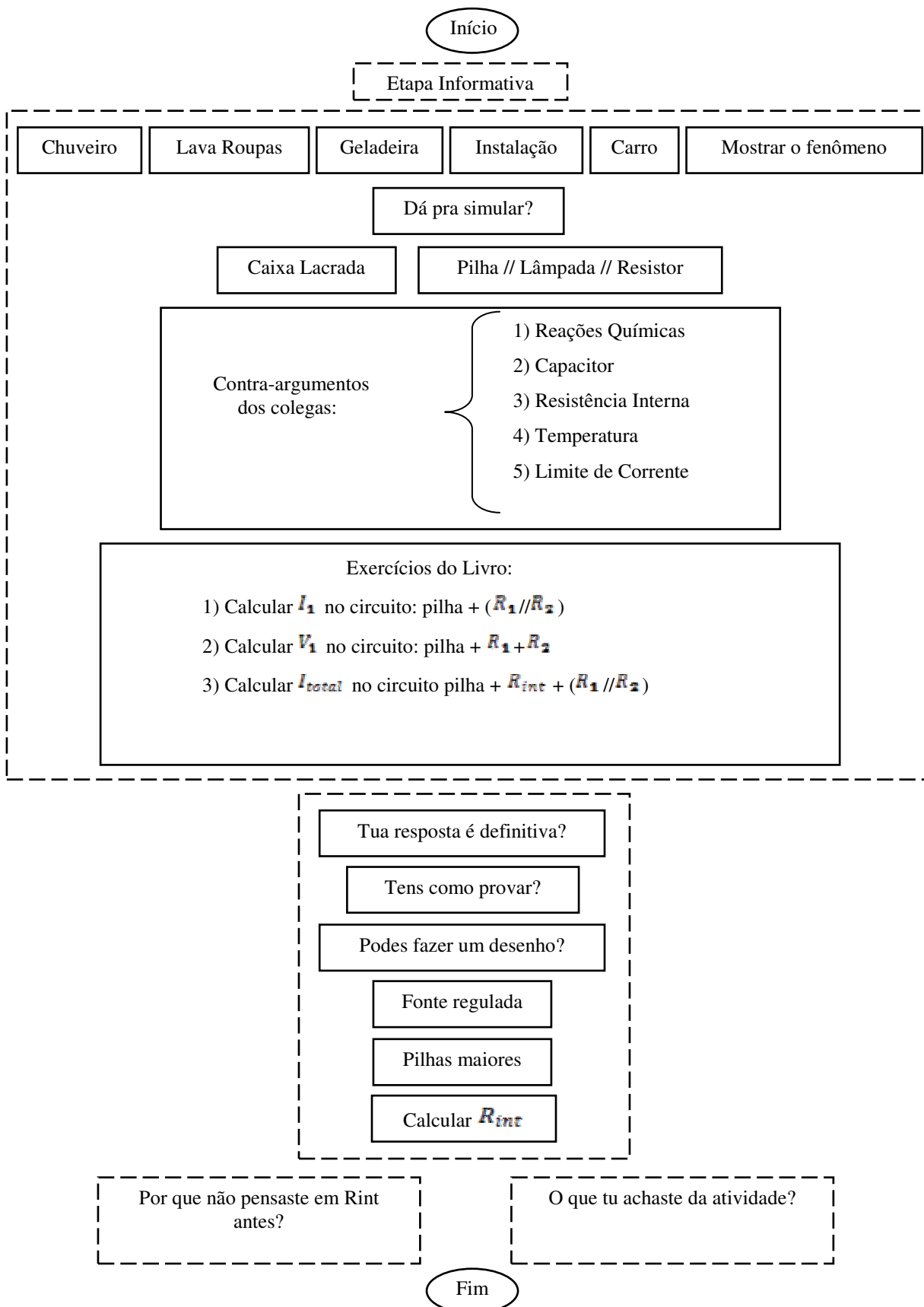
APÊNDICE J – Fluxograma Resumido da Entrevista

Figura 16 – Fluxograma Resumido da Entrevista



APÊNDICE K – Blocos Parciais das Situações Experimentais

Figura 17 – Blocos Parciais das Situações Experimentais



APÊNDICE M – Fotos da Versão Final do Experimento

Figura 18 – Versão Final do Experimento só com as pilhas.

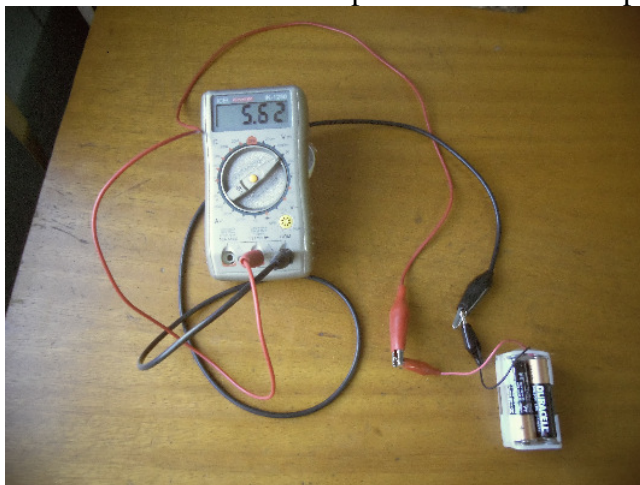


Figura 19 – Versão Final do Experimento com pilhas e lâmpada.

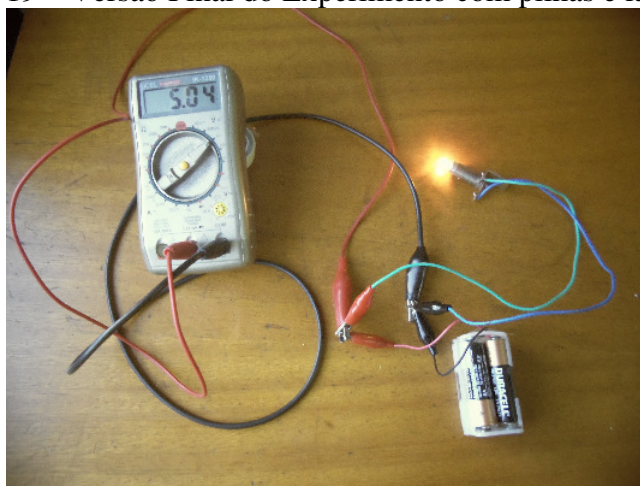
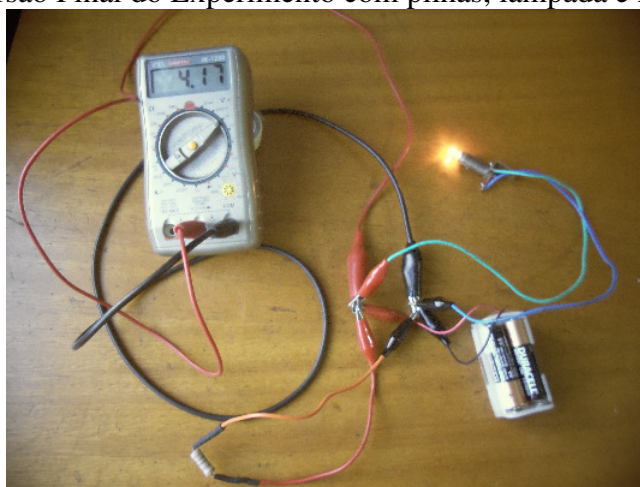


Figura 20 – Versão Final do Experimento com pilhas, lâmpada e resistor do chuveiro.



APÊNDICE N – Destaques da Entrevista do Sujeito S29

Com base na Transcrição S29 – Sujeito S29, 19 anos.

1. “Tu observaste se acontece alguma coisa quando se liga o chuveiro com a lâmpada do banheiro acesa? *Quando está normal, frio, eu observo que a luz está mais clara. Ai quando liga o chuveiro a lâmpada dá uma apagada. Por que isso acontece? Como é chuveiro elétrico deve acontecer uma queda, porque é, como se diz, é instantâneo.*”
2. “Tu achas que com esses componentes a gente pode simular essa situação do chuveiro? *Sim. Com a lâmpada dá para fazer a queda. Quando dá aquela piscada, ou abaixa um pouco, fica mais escuro, não sei dizer bem. E com o resistor [se faz] o chuveiro. Eu acho que deve ser resistor de potência. Nunca olhei. Eu acho que dá sim. E precisa da fonte de tensão*”.
3. “O que significa esses 6V escrito na lâmpada? *Que ela acende, e se passar de 6V ela pode queimar. E o que significa esses 250mA? É a corrente que passa nela, daí tu tens uma resistência para usar nela. Tu estás falando da resistência da lâmpada? Não, a resistência fora. Que nem num LED. Quando tu vais ligar tu botas um resistor de 220Ω. Mas se a lâmpada é para 6V por que tu não podes ligar ela direto nas pilhas? Direto não, acho que tem que ter a resistência. Por que? [...]*”
4. “O que tu achas que vai acontecer quando tu ligares? *Vai dar uma pequena queda. Porque é a metade da resistência que tem ali. Eu acho que vai dar uma queda*”.
5. “O que aconteceu? *Dá uma queda de brilho. E por que tu achas que dá essa queda de brilho na lâmpada? Porque aumenta a resistência dela. Aumenta a resistência do circuito e tira um pouco de tensão. Tira um pouco da tensão da pilha? Não, da pilha pra cá. A pilha continua em 6V. A tensão que sai, vem para cá [para o resistor do chuveiro] e diminui. Que nem o LED. Por isso o resistor. Para dar uma queda de tensão. Dessa parte que saiu daqui, passou por aqui e pegou essa resistência de 12Ω. Digamos que aqui chega 4V. Por isso que a lâmpada acende mais fraco*”.
6. “Tu tens como provar que chega menos tensão? *Medindo. 4,36V [com a lâmpada e o chuveiro]. Eu quero ver na pilha. Está saindo o mesmo. Só se eu desligasse. Saiu 5,4V [somente a pilha]. Qual tensão está chegando à lâmpada? 4,3V. É que na parte teórica e a parte prática tem uma diferença, até pela resistência também*”.
7. “Qual é o valor da tensão na lâmpada? E nesse resistor do chuveiro? *Acho que é um paralelo. Posso fazer outro desenho? Pode. Na verdade está tudo ligado, então tem que ser em paralelo. Tem uma queda de tensão, por isso que dá aquela queda no brilho. Se fosse paralelo, com a Lei de Ohm, a tensão ficaria a mesma e a corrente diferente. Pelo que eu me lembro do primeiro ano é isso*”.
8. “Antes tu tinhas medido só a pilha e deu 5,4V, agora tu ligaste a lâmpada e o resistor deu 4,4V. Por que isso? *Porque mudou a corrente. A corrente inicial. Se mudar a corrente, faz a relação com a Lei de Ohm, a tensão muda. Se eu pegar a resistência e fazer vezes a corrente descobre qual tensão tem ali*”.
9. “E se tu usares aquelas fontes reguladas, ao ligar o chuveiro também muda a tensão? *Depende do circuito. Quando tem resistência no circuito muda*”.
10. O sujeito continua: “*Não entendi porque quando está sozinha é 5,4V e quando está junto é 4,38V. Vou eu medir ela sem o resistor. É, deu uma queda de 0,3V. Talvez a resistência do próprio fio. Quando ele (o chuveiro) necessita da tensão talvez abaixe*”.
11. “Tu achas que lá na tua casa a tensão também diminui ou não? *Deve ser. Para o brilho diminuir. Eu não entendi o porquê diminui. Mas a gente já viu que aqui quando tu*

- ligas o chuveiro diminui o brilho e diminui a tensão. Não é? *Daí quando tu desligas o chuveiro volta ao normal. Por que será que isso acontece? Não sei*”.
12. Contra-argumentos dos colegas: i) reações químicas: *“acho que não é isso. Não vejo reação química na parte elétrica.”*; ii) Capacitor: *“Acho que não, porque ela fica estável. Quando liga fica aquela tensão, daí quando desliga volta”*; iii) Temperatura: *“quando tu deixas muito tempo na temperatura máxima, pode queimar a resistência. Mas não sei se tem a ver com a tensão diminuir. Como ia queimar se a tensão está diminuindo? Só ia desligar. Para queimar a tensão teria que aumentar. Tu achas que a queda de tensão ocorreu por causa da temperatura ou não? Não, para diminuir a tensão por causa da temperatura não”*; iv) resistência interna das pilhas: *“Eu também acho, porque quando só foi ligado isso aqui [a pilha] com a lâmpada, [a tensão] diminuiu um pouco e quando foi posto a resistência [do chuveiro] ali, diminuiu mais”*; v) limite de corrente: *“Eu acho que esse também pode ser considerado, porque se aumenta a resistência diminui a corrente. Vamos ver se informa a corrente na pilha. Só tem a tensão. Tu achas que a queda de tensão pode ter ocorrido por causa do limite de corrente? Eu confio mais na parte da resistência. Dessas explicações que eu te disse, qual tu achas que é a mais provável? A parte da resistência”*.
 13. *“Como tu desenhas isso que tu explicaste? O problema é que o que sai quando ela [resistência do chuveiro] não está ligada é 5,4V e quando está é 4,38V. Daí eu não sei qual que eu ponho aqui”*.
 14. *“Nesse desenho que tu fizeste [sem a resistência interna] como tu explicas a queda de tensão? Isso eu poderia explicar assim: Aqui (no chuveiro) fica 365mA (4,38/12) e sobra 182mA (4,38/24) para a lâmpada. Parece que essa explicação é a da divisão da corrente, não é? A da resistência tem um pouco também porque se não tivesse o resistor, seria toda corrente, por isso que a lâmpada ficava mais acesa antes”*.
 15. *“Mas um colega teu me disse que não pode ser a divisão da corrente porque a corrente nada tem a ver com a tensão? Tu achas que tem alguma relação ou não? Se envolve resistência sim, porque a tensão normalmente mudaria no caminho se tivesse uma resistência e assim também a corrente. De qual resistência tu estás falando? De tudo. A resistência daqui. A resistência de tudo que envolve o circuito.”*
 16. *“O que tu achas que aconteceria se tu usasses essas pilhas maiores? Elas têm um fluxo de corrente maior, eu acho. Não sei se queimaria a lâmpada. Por a corrente ser maior. Não sei nem se liga a lâmpada. Sendo que ela precisa de 6V e ali tem 6V, mas acho que dependeria da corrente também”*.
 17. *“Como tu explicas a redução do brilho da lâmpada? Porque quando tu pões um resistor, que nem a resistência do chuveiro, quando tu ligas, o brilho diminui. Seria só a resistência do chuveiro. O chuveiro tem uma resistência, daí diminui o brilho”*.

APÊNDICE O – Mapas de Desempenho do Sujeito S30

Tabela 9 – Mapas de Desempenho do Sujeito S30

Categorias	Níveis		Etapas															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Compreensão	N3	Compreensão Rint							TC	TC	9					14	TC	16
	N2	Noção subjacente						TC				10	EP	EP	EP			
	N1	Pré-noção	1		3	4	5											
Relações	N3	Totalidades								8							15	16
	N2	Parte-Todo		2	3			6	7		9		11	12	13	14		
	N1	Parte-Parte	1			4	5					10						
Possibilidades	N3	coord.hipót.gerais			3			6	7	8							15	16
	N2	cons.hipót.restritas									9		11	12	13	14		
	N1	negligencia/especula				4	5					10						
Observáveis	N3	Mat., Ação, Operação						6	7	8			11	12	13	14	15	16
	N2	Material, Ação			3	4	5					10						
	N1	Material ou sensorial	1	2							9							
Atitude	N3	Espontânea							7	8		10	11	12	13	14		
	N2	Desencadeada			3	4	5	6			9						15	16
	N1	Passiva																

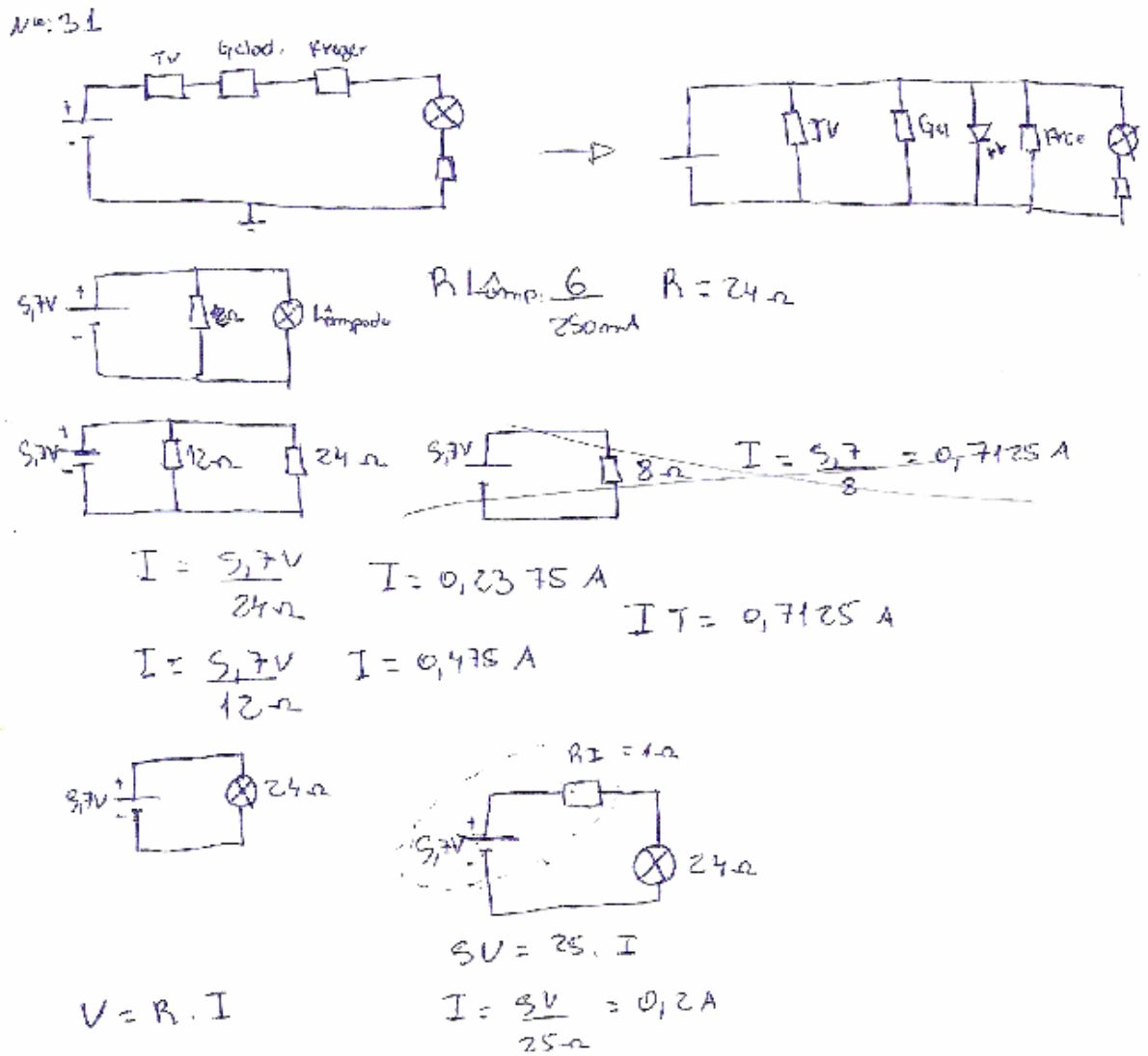
Sujeito: S30, 19 anos - Entrevista: 53 minutos, 16 etapas principais.

Tabela 10 – Legenda dos Mapas de Desempenho do Sujeito S30

ETAPA		SIGLA	EVIDÊNCIA
1	Situação do cotidiano		
2	Função dos componentes		
3	Sabe simular		
4	Montagem da simulação		
5	Desenho da simulação		
6	Desenho da simulação. Cálculo das correntes.	TC	Tomada de Consciência do limite de corrente
7	Medições na simulação	TC	Tomada de Consciência de que possa existir Rint
8	Desenho de Rint	TC	Tomada de Consciência de Rint
9	Situação do cotidiano		
10	Pilhas maiores		
11	Pilhas maiores. Cálculo Rint	EP	Êxito Prático: calculou Rint
12	Cálculo Rint	EP	Êxito Prático: não TC que calculou Rint
13	Cálculo Rint	EP	Êxito Prático: não TC que calculou Rint
14	Solicita confirmar Rint		
15	Argumentos dos colegas	TC	Tomada de Consciência de Rint, com conceituação
16	Fonte regulada		

APÊNDICE P – Desenhos do Sujeito S31

Figura 21 – Desenhos do Sujeito S31



APÊNDICE Q – Observáveis Elétricos para o Sujeito S34

Tabela 11 – Observáveis Elétricos para o Sujeito S34

SITUAÇÃO	OBSERVÁVEL (Grandeza Elétrica)	AÇÃO/ OPERAÇÃO	VALOR (a constatar)
Especificação da Pilha	Tensão na Pilha	Leitura no Componente e Cálculo: $1,5V \times 4$	6,00V
Especificações da Lâmpada	Corrente Máxima	Leitura no Componente	0,25A
	Tensão Máxima	Leitura no Componente	6,00V
	Resistência	Cálculo $6,00V/0,25A$	24Ω
Especificações do Resistor do Chuveiro	Resistência do Resistor do Chuveiro	Leitura no Componente	12Ω
	Corrente no Resistor do Chuveiro	Cálculo $6V/12\Omega$	0,50A
Somente com a Pilha	Tensão na Pilha Sozinha	Leitura no Multiteste	5,58V
Circuito Montado só com a Lâmpada Ligada na Pilha	Tensão na Pilha	Leitura no Multiteste	5,21V
	Queda de Tensão na Resistência Interna	Cálculo $5,58V - 5,21V$	0,37V
	Resistência Interna da Pilha (Rint)	Cálculo $0,37V/0,25A$	$1,48\Omega$
Circuito Montado só com o Chuveiro Ligado na Pilha	Tensão na Pilha	Leitura no Multiteste	4,83V
	Queda de Tensão na Resistência Interna	Cálculo $5,58V - 4,83V$	0,75V
	Resistência Interna da Pilha (Rint)	Cálculo $0,75V/0,50A$	$1,50\Omega$
Circuito Montado com Lâmpada e Chuveiro Ligados na Pilha	Corrente Total Fornecida pela Pilha	Cálculo $0,25A+0,5A$	0,75A
	Tensão na Pilha	Leitura no Multiteste	4,46V
	Queda de Tensão na Resistência Interna	Cálculo $5,58V - 4,46V$	1,12V
	Resistência Interna da Pilha (Rint)	Cálculo $1,12V/0,75A$	$1,49\Omega$

ANEXOS

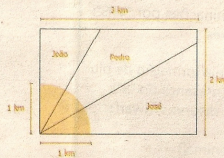
ANEXO 1 – Questão do ENEM

Figura 22 – Questão do ENEM

ZERO HORA
QUINTA-FEIRA,
29 DE MAIO DE 2014 **3**

menos tempo de preparação

QUESTÕES COMPARADAS Segundo professores, o Enem costuma colocar as questões no contexto prático, facilitando o raciocínio lógico, enquanto a UFSM costumava ser conteudista, obrigando, em alguns casos, o uso de fórmulas

FÍSICA	MATEMÁTICA
<p>ENEM O chuveiro elétrico é um dispositivo capaz de transformar energia elétrica em energia térmica, o que possibilita a elevação da temperatura da água. Um chuveiro projetado para funcionar em 110V pode ser adaptado para funcionar em 220V, de modo a manter inalterada sua potência. Uma das maneiras de fazer essa adaptação é trocar a resistência do chuveiro por outra, de mesmo material e com o (a):</p> <p>a) dobro do comprimento de fio. b) metade do comprimento do fio. c) metade da área de seção reta do fio.</p> <p>d) quádruplo da área da seção reta do fio. e) quarta parte da área da seção reta do fio.</p> <p>GABARITO: E</p> <p>UFSM Um chuveiro elétrico de resistência $R = 10 \Omega$ foi construído para trabalhar sob tensão $U = 110 \text{ V}$. Para adaptá-lo ao uso e 220 V mantendo a mesma potência para aquecimento da água, deve-se substituir a resistência R por outra de:</p> <p>a) $2,5 \Omega$ b) $20,0 \Omega$ c) $5,0 \Omega$ d) $4,0 \Omega$ e) $40,0 \Omega$</p> <p>GABARITO: E</p>	<p>ENEM Ao morrer, o pai de João, Pedro e José deixou como herança um terreno retangular de $3 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ que contém uma área de extração de ouro delimitada por um quarto de círculo de raio 1 km a partir do canto inferior esquerdo da propriedade. Dado o maior valor da área de extração de ouro, os irmãos acordaram em repartir a propriedade de modo que cada um ficasse com a terça parte da área de extração, conforme mostra a figura.</p>  <p>Em relação à partilha proposta, constata-se que a porcentagem da área do terreno que coube a João</p> <p>corresponde, aproximadamente, a: (considere $\sqrt{3}/3 = 0,58$)</p> <p>a) 50% b) 43% c) 37% d) 33% e) 19%</p> <p>GABARITO: E</p> <p>UFSM Para calcular a distância de um ponto B até um ponto C inacessível, um observador escolheu um ponto A qualquer, desde que B e C possam ser vistos de A. Após, mediu as distâncias $AB = 50 \text{ m}$ e $AC = 80 \text{ m}$ e o ângulo $\widehat{BAC} = 60^\circ$. Então a distância BC é igual a:</p> <p>a) 50 m b) 60 m c) 70 m d) 80 m e) 90 m</p> <p>GABARITO: C</p>

Fonte: ZERO HORA (29 mai. 2014, p. 3)