

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

LUCIANO PEREIRA LUDUVICO

**NOÇÃO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA
E ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO**

Um estudo de Epistemologia Genética

**Porto Alegre
2014**

LUCIANO PEREIRA LUDUVICO

**NOÇÃO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA
E ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO**

Um estudo de Epistemologia Genética

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

Orientador: Prof. Dr. Fernando Becker.

**Porto Alegre
2014**

CIP - Catalogação na Publicação

Luduvico, Luciano Pereira
NOÇÃO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA E ENSINO DE
FÍSICA NO ENSINO MÉDIO. Um estudo de Epistemologia
Genética. / Luciano Pereira Luduvico. -- 2014.
109 f.

Orientador: Fernando Becker.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Educação, Programa de Pós-
Graduação em Educação, Porto Alegre, BR-RS, 2014.

1. Epistemologia Genética. 2. Noção de conservação
de energia. 3. Ensino de Física. 4. Ensino Médio. I.
Becker, Fernando, orient. II. Título.

Agradecimentos

Ao Prof. Fernando Becker pela orientação que me desafiou a compreender meu objeto de pesquisa e pelo seu comprometimento com a educação que transformou meus pensamentos sobre a sala de aula.

Aos colegas de orientação e seminários pelos debates que embasaram a construção desta pesquisa e que me permitiram considerar novas possibilidades em minha investigação.

Ao grande amigo Júnior Saccon Frezza pela cooperação que me ajuda a crescer no domínio da Epistemologia Genética e da Física.

À Professora Nina Rosa Xavier e seus alunos pelo apoio de sua escola para a coleta de dados.

Ao Programa de Pós-Graduação em Educação da UFRGS pelo suporte que me permitiu construir um trabalho de qualidade, no qual tive a oportunidade de desenvolver várias ideias sobre educação. Espero que elas se multipliquem e contribuam para a transformação da educação em nosso País.

À CAPES e ao CNPq pelo financiamento da pesquisa.

À minha mãe Noely e à minha esposa Roberta. Por tudo.

Resumo

O presente trabalho, que se fundamenta na Epistemologia Genética de Jean Piaget, trata da investigação da noção de conservação de energia em alunos do Ensino Médio e suas repercussões no ensino de Física desta etapa escolar. O trabalho divide-se em duas partes. Na primeira, pesquisa-se a noção de conservação de energia em alunos do Ensino Médio. A coleta de dados foi realizada a partir de uma situação experimental com base no método clínico piagetiano. Os sujeitos foram 17 alunos, com idade entre 16 e 18 anos, de uma escola estadual de Ensino Médio, localizada na cidade de Porto Alegre. Foram encontrados três níveis de desenvolvimento para a noção de conservação de energia. Na segunda parte, analisam-se as possibilidades de uma metodologia de ensino centrada no desafio e inspirada no método clínico piagetiano. Essa metodologia trata a conservação de energia como tema recorrente no interior da Física. A coleta de dados foi realizada a partir de quatro aulas que focaram as perguntas e as contra-argumentações desencadeadas pelas ações dos alunos frente aos desafios colocados a eles pelas atividades experimentais. Essas atividades funcionaram como elementos possibilitadores da aprendizagem dos alunos frente ao conteúdo de Física proposto. Os sujeitos foram 16 alunos de primeiro ano do Ensino Médio, com idade entre 14 e 18 anos, de uma escola estadual de Ensino Médio, localizada na cidade de Porto Alegre. No desenrolar das aulas foram constituídas três relações fundamentais possibilitadas por essa metodologia de ensino: a relação Conteúdo ↔ Professor ↔ Aluno, a relação Professor ↔ Conteúdo ↔ Aluno e a relação Aluno ↔ Conteúdo ↔ Aluno. Pensamos que essas relações, gestadas no interior de uma pedagogia ativa, trazem significativas contribuições ao ensino de Física.

Palavras-Chave: Epistemologia Genética; Noção de conservação de energia; Ensino de Física; Ensino Médio.

Abstract

This research, which is based on Genetic Epistemology by Jean Piaget, it's about the investigation of the notion of energy conservation in high school students and their impact on physics teaching in this educational stage . The work is divided into two parts. In the first part it's investigated the notion of energy conservation in high school students. Data acquisition was performed from an experimental situation based on Piaget's clinical method. The subjects were 17 students, aged between 16 and 18 years old, from a state high school, located in the city of Porto Alegre. Three levels of development were found for the notion of energy conservation. In the second part it's analyzed the possibilities of a teaching methodology centered on the challenge and inspired by Piaget's clinical method. This methodology takes energy conservation as a recurrent theme inside the Physics. Data acquisition was performed from four classes that focused the questions and the counterarguments triggered by the students actions face to the challenges imposed to them by experimental activities. These activities worked as enablers elements of the students learning in the Physical content proposed. The subjects were 16 students from the first year of high school, aged between 14 and 18 years old, from a state high school, located in the city of Porto Alegre. In the course of classes were constructed three key relationships enabled by this teaching methodology: Content ↔ Teacher ↔ Student relationship, Teacher ↔ Content ↔ Student relationship and Student ↔ Content ↔ Student relationship. We think that these relationships, gestated inside an active pedagogy, bring significant contributions to the Physics teaching.

Keywords : Genetic Epistemology ; Notion of energy conservation; Physics Teaching; High School.

Resumen

Este trabajo, que se basa en la Epistemología Genética de Jean Piaget, es acerca de la investigación de la noción de conservación de la energía en los estudiantes secundarios y su impacto en la enseñanza de la Física en esta etapa educativa. El trabajo se divide en dos partes. En la primera parte es investigado la noción de conservación de la energía en los estudiantes secundarios. La recolección de datos se realizó a partir de una situación experimental basada en el método clínico de Piaget. Los sujetos fueron 17 estudiantes, con edades entre 16 y 18 años, de una escuela secundaria del estado, situada en la ciudad de Porto Alegre. Se encontraron tres niveles de desarrollo de la noción de conservación de la energía. En la segunda parte se analizan las posibilidades de una metodología de enseñanza centrada en el desafío e inspirados por el método clínico de Piaget. Esta metodología lleva la conservación de la energía como un tema recurrente dentro de la Física. La recolección de datos se realizó a partir de cuatro clases que se centraron en las preguntas y los contraargumentos, provocados por las acciones de los estudiantes frente a los desafíos colocados a ellos por actividades experimentales. Estas actividades trabajaron como elementos habilitadores de la aprendizaje de los estudiantes en relación a lo contenido de Física propuesto. Los sujetos fueron 16 estudiantes del primer año de la escuela secundaria, con edades comprendidas entre 14 y 18 años, de una escuela secundaria del estado, situada en la ciudad de Porto Alegre. En el desarrollo de las clases se construyeron tres relaciones clave habilitados por esta metodología de enseñanza: la relación Contenido ↔ Profesor ↔ Estudiante, la relación Profesor ↔ Contenido ↔ Estudiante y la relación Estudiante ↔ Contenido ↔ Estudiante. Pensamos que estas relaciones, gestados dentro de una pedagogía activa, trae importantes contribuciones a la enseñanza de la Física.

Palabras-clave: Epistemología Genética ; Noción de conservación de la energía; Enseñanza de la Física ; Escuela Secundaria.

Sumário

INTRODUÇÃO	10
A INVESTIGAÇÃO.....	14
OBJETIVOS.....	15
PARTE I – NOÇÕES DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM ALUNOS DE ENSINO MÉDIO.....	16
1. CONSIDERAÇÕES SOBRE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	17
2. CONSERVAÇÃO DE ENERGIA E EPISTEMOLOGIA GENÉTICA	21
3. METODOLOGIA	25
3.1. Os sujeitos	25
3.2. Procedimentos para a coleta de dados.....	25
3.3. Instrumentos para a coleta de dados	25
3.3.1. Situação experimental: identificação e coordenação entre as variáveis relativas à conservação de energia	26
3.3.2. A entrevista	29
4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	31
4.1. Nível I – Não conservação das variáveis referentes à conservação de energia na Física. 32	
4.2. Nível II – Não conservação da energia total do sistema, mas com conservação da inversão entre energia cinética e potencial..... 33	
4.3. Nível III – Conservação das variáveis referentes à conservação de energia na Física..... 35	
5. CONCLUSÃO DA PARTE I	37
PARTE II – ENSINO DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA COM UMA METODOLOGIA INSPIRADA NO MÉTODO CLÍNICO PIAGETIANO.....	40
6. ENSINO DE FÍSICA E EPISTEMOLOGIA GENÉTICA	41
6.1. O papel da experimentação no ensino de Física..... 41	
6.2. A intradisciplinaridade e suas implicações no ensino de Física..... 47	
6.3. O ensino de Física centrado no desafio..... 52	
7. METODOLOGIA	55
7.1. Os sujeitos	55
7.2. Procedimentos de coleta de dados..... 56	
8. DESCRIÇÃO DAS AULAS	58
8.1. Aula 1	58
8.2. Aula 2	60
8.3. Aula 3	65
8.4. Aula 4..... 69	

9. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	73
9.1. A metodologia de ensino de Física centrada no desafio e inspirada no método clínico piagetiano	73
9.2. A conservação de energia como tema recorrente no ensino de Física	87
10. CONCLUSÃO DA PARTE II.....	93
11. CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
APÊNDICE 1	105
APÊNDICE 2	106
APÊNDICE 3.....	107
APÊNDICE 4.....	108

Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema da Tomada de Consciência (Piaget, 1974a/1977, p. 199, com modificações)	22
Figura 2 – Skatista em uma rampa.....	23
Figura 3 – Esquema dos trilhos que compõem o dispositivo construído para o experimento.	26
Figura 4 – Imagem lateral do dispositivo mostrando o caminho do trilho I e, ao fundo, do trilho II.....	27
Figura 5 - Imagem lateral do dispositivo mostrando o caminho do trilho III e, ao fundo, do trilho II. Também é mostrada a régua usada para garantir que todas as esferas saiam ao mesmo tempo.	27
Figura 6 – Foto de topo do dispositivo mostrando os três trilhos.	28
Figura 7 – Foto de frente do dispositivo mostrando os três trilhos e, ao fundo, os trilhos extensores.....	28
Figura 8 – Foto das atividades da aula 1	60
Figura 9 – Foto das atividades da aula 2	65
Figura 10 – Diagrama esquemático de um motor elétrico.	67
Figura 11 – Foto das atividades da aula 3	69
Figura 12 – Embalagem com as especificações técnicas de uma lâmpada fluorescente.....	70
Figura 13 – Foto das Atividades da aula 4.....	72

Introdução

Durante minha graduação na Licenciatura em Física¹ tive a oportunidade de dar aulas em turmas de Ensino Médio. Como professor, sempre fiquei intrigado com a dificuldade de aprendizagem e a aversão que grande parte dos alunos nutria pela Física.

Para eles, essa disciplina nada mais é que aplicação de fórmulas e um obstáculo no caminho que leva à universidade. Junta-se a isso a visão de alguns professores que acreditam que a solução para as dificuldades em Física é aplicar provas cada vez mais difíceis, pois isso obrigaria os alunos a estudarem. Estes, por sua vez, frequentemente, não dão conta do nível dessas provas e acabam reprovando. Mas, no final, professores e alunos se convencem que está tudo na normalidade porque, afinal, Física é muito difícil de aprender. Reconheço, aí, a estrutura que Collares (1998) chama de a “perversa lógica da alienação”, pois passamos a acreditar que não existe alternativa. No entanto, a reflexão sobre os processos educacionais nos leva a superar essa visão de senso comum. Foi essa minha motivação para ingressar no Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Qual a importância de se aprender Física na escola? Conhecimentos físicos podem estar presentes em situações do cotidiano desde ligar uma lâmpada, cozinhar alimentos, assistir televisão até complexos sistemas industriais. Compreender os conhecimentos dessa área significa pensar sobre fenômenos que influenciam o mundo, tanto social como economicamente, ou seja, auxiliam na construção da cidadania. Entendo que essa deva ser a função maior da disciplina de Física no Ensino Médio; no entanto, minha experiência mostra que a escola não caminha nessa direção. O que se vê na sala de aula é uma Física na qual um problema não é explorado em suas diversas variáveis, mas limitado à aplicação de um algoritmo que deve ser repetido várias vezes de modo que se obtenha um resultado exato, que se encontra no final do livro didático. Acredito que seja esse modelo de ensino que faz com que os alunos adquiram uma visão limitada da Física e que justifica sua famosa frase: “Mas o que isso tem a ver com minha vida?”.

Como professor de Física no Ensino Médio, instiga-me quando um aluno, frente a um problema, não consegue compreender todas as áreas da Física que estão

¹ Cursada entre 2006 e 2009 na Universidade Federal de Pelotas.

contidas na situação proposta, como, por exemplo, em um problema no qual uma força age sobre uma carga devido ao fato dela encontrar-se em um campo elétrico. A força resultante faz com que a carga sofra determinada aceleração. No entanto, minha experiência mostrou que muitos alunos se admiravam com esse resultado, uma vez que a aceleração pertencia ao conteúdo de mecânica e, naquele momento, estávamos estudando eletromagnetismo.

A partir de meus estudos via que essa situação poderia ser justificada pelo modelo de ensino que grande parte das escolas segue – o que pressupõe certa concepção de aprendizagem. Na escola, costuma-se partir de um pressuposto segundo o qual a disciplina deve ser dividida em diversos conteúdos programáticos de modo que o aluno foque cada problema a partir desse conteúdo. Entretanto, ao deparar-se, no cotidiano, com situações que podem ser interpretadas pela Física, o indivíduo encontra uma série de conteúdos que se referem a um mesmo problema. Nesse sentido, de que maneira ele poderá reconhecer a complexidade do problema físico e dar conta dela?

Chamaram-me a atenção algumas ideias dos alunos sobre conservação de energia, expressas durante as aulas. Eles conseguiam relacionar diferentes campos da Física pensando sobre as transformações de energia que estavam envolvidas no problema e na sua conservação, mesmo em se tratando de fenômenos físicos diferentes. Por exemplo, o estudo da geração de energia elétrica em uma Hidrelétrica. Inicialmente, as águas que se encontram no alto das cachoeiras possuem uma energia mecânica que está sob a forma de uma energia potencial gravitacional. No momento em que as águas descem, adquirem outra forma de energia mecânica denominada energia cinética, que será máxima no momento em que chegarem à altura das turbinas (que poderíamos adotar como zero, ao tomar um referencial inercial cuja origem coincide com a posição do ponto mais baixo da cachoeira). Finalmente, ao chegarem às turbinas, as águas movimentam as hélices das mesmas fazendo com que o gerador transforme em energia elétrica a energia cinética.

Considero interessante notar como o sujeito pode transitar por diferentes conteúdos de Física usando a noção de conservação de energia. Ao identificar variáveis como a altura em que a água está e a sua velocidade durante a queda, o sujeito pode caracterizar, respectivamente, o comportamento da energia potencial gravitacional e cinética do sistema. A partir disso, ele poderá analisar como uma forma de energia se transforma em outra através de suas variações, mas levando em consideração que a

energia do sistema como um todo se mantém constante. Refletindo sobre essa situação, penso que seu valor está na estratégia utilizada pelo sujeito ao coordenar diferentes variáveis compondo uma totalidade; a compreensão do problema, porém, está na busca de relações entre os fenômenos físicos em jogo .

Esse fato me chamou a atenção, pois explorar pedagogicamente essa noção pode possibilitar uma estratégia de ensino na qual a Física não está dividida em partes específicas, mas se apresenta como um todo composto de elementos que se relacionam entre si. Dessa forma, poderíamos pensar um problema em toda sua complexidade, oportunizando ao aluno a ideia de uma Física dinâmica, na qual diversas variáveis estão atuando e ele é desafiado a agir para compreender os fenômenos que estão acontecendo.

Isso posto, considero interessante uma investigação de como a noção de conservação de energia pode ser utilizada como um tema recorrente dentro dos processos de ensino da Física no sentido de desafiar o aluno do Ensino Médio a construir uma compreensão sobre diferentes fenômenos físicos. Este estudo pode contribuir com os processos de ensino na sala de aula de Física e trazer novidades para a reflexão dos professores da área.

Entendo, pois, que minha investigação deva ter como suporte uma teoria que me possibilite compreender os processos que estão em jogo dentro de um problema no qual o sujeito utiliza-se da noção de conservação de energia. Compreendo que o referencial teórico, que me permite refletir sobre como se dá a interação entre o sujeito e os desafios que esse problema, objeto de conhecimento, traz é a Epistemologia Genética de Jean Piaget. Essa teoria busca entender como se dá a gênese e o desenvolvimento do conhecimento e do pensamento do sujeito, desde o seu nascimento. Ela faz isso através da análise de suas ações com as quais ele tenta compreender um objeto impondo a ele transformações de modo a dar conta dos sucessivos desequilíbrios vividos nessa interação. Dessa maneira, não estamos abordando apenas o problema físico e nem apenas os processos mentais do sujeito, mas a gênese do conhecimento oriunda da correlação desses dois polos.

Assim, a partir do referencial teórico da Epistemologia Genética, buscarei compreender como a recorrência da noção de conservação de energia no interior da Física poderá constituir-se em fator desencadeador da aprendizagem dos conteúdos dessa ciência. Este estudo comporta dois momentos. O primeiro tratará da investigação da noção de conservação de energia em alunos do Ensino Médio. O segundo, preparado

pelo primeiro, se ocupará da investigação, no Ensino Médio, das repercussões de uma metodologia de ensino, inspirada no método clínico piagetiano, apoiada na noção de conservação de energia como tema recorrente na abordagem de diferentes conteúdos da Física.

A Investigação

Nesta tese, tem-se como problema central de investigação a seguinte questão:

Quais são as possibilidades de uma metodologia de ensino de Física, para o Ensino Médio, inspirada no método clínico piagetiano e planejada com base na intradisciplinaridade entre conteúdos da Física, que tem por objetivo a aprendizagem da conservação de energia a partir do levantamento das noções apresentadas pelos alunos sobre esse conteúdo?

Este problema desdobra-se em três sub-problemas que norteiam o desenvolvimento desta pesquisa:

- 1) Quais são as noções de conservação de energia presentes nas argumentações de alunos de Ensino Médio na resolução de um problema de Física?*
- 2) Quais são as possibilidades de aprendizagem que surgem a partir de uma metodologia de ensino de Física, no Ensino Médio, centrada no desafio e inspirada no método clínico piagetiano?*
- 3) Quais são as possibilidades de aprendizagem que surgem a partir de uma proposta intradisciplinar entre os conteúdos da Física, no Ensino Médio, efetivada através do ensino do conteúdo da conservação de energia encarado como tema recorrente no interior da Física?*

Objetivos

Formulado o problema, que este trabalho visa responder, a pesquisa é dividida em duas partes, cada uma delas com objetivos próprios:

- Parte I - Noções de conservação de energia em alunos de Ensino Médio

Objetivo:

- Investigar as noções de conservação de energia em alunos de Ensino Médio, tendo como suporte teórico a Epistemologia Genética.

- Parte II - Ensino da conservação de energia com uma metodologia inspirada no método clínico piagetiano

Objetivos:

- Investigar a relação entre uma metodologia de ensino de Física, no Ensino Médio, centrada no desafio e inspirada no método clínico piagetiano e os níveis de aprendizagem da conservação de energia por parte dos alunos;

- Analisar as possibilidades de aprendizagem que surgem da aplicação de uma proposta intradisciplinar entre os conteúdos de Física, no Ensino Médio, efetivada através do ensino do conteúdo da conservação de energia encarado como tema recorrente no interior da Física.

**PARTE I – NOÇÕES DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA
EM ALUNOS DE ENSINO MÉDIO**

1. Considerações sobre conservação de energia

A palavra Energia vem do grego *enérgeia* (ἐνέργεια) que significa trabalho. Segundo Bucussi (2007), essa palavra foi usada inicialmente para se referir a fenômenos relacionados com uma *vis viva* (força viva) e com o *calórico*. O *calórico* era parte de uma teoria que tentava explicar fenômenos termodinâmicos. A *vis viva* foi definida por Leibniz (1646-1716), em 1683 na sua obra “Discurso de Metafísica”, como uma propriedade que se mantinha constante em um corpo desde que uma *vis* (força no sentido newtoniano) não atuasse sobre ele.

Essa denominação de energia como *força viva* vem de uma relação entre força e energia que, no início dos estudos sobre o tema, não era bem diferenciada pelos cientistas, tanto que muitos se referiam à força como energia. Entretanto, é importante ressaltar as diferenças entre esses dois conceitos. A força é uma grandeza vetorial, ou seja, ela é definida por uma intensidade, direção e sentido, sendo medida em *newton* (N). Já a energia é uma grandeza escalar, sendo quantificada apenas por um valor numérico cuja unidade de medida é *joule* (J).

Conforme relata Bucussi (2007), os físicos tentavam formular, até o século XIX, e ainda sob influência do grande trabalho de Isaac Newton na área da mecânica, o conceito de força em diversos campos como o da eletricidade, do magnetismo e da termodinâmica. No entanto, através desse conceito não se conseguiram as aproximações entre essas áreas da maneira desejada pelos cientistas da época. De outro lado, começaram a surgir diversas teorias que davam conta de uma regularidade entre os fenômenos mecânicos (*vis viva*) e os relativos ao calor (*calórico*). Foi nesse ponto que o conceito de energia começou a ser investigado mais profundamente na Física e na Engenharia.

De acordo com as análises de Bucussi (2007) e Peduzzi (2007), o desenvolvimento do princípio de conservação de energia, por diversos físicos como Julius Robert Mayer (1814-1878), James Prescott Joule (1818-1889), Ludwig A. Colding, Hermann Ludwig Helmholtz (1821-1894), C. F. Mohr (1806-1879), W. Grove, Michael Faraday (1791-1867), Justus Liebig (1803-1873), Nicholas Léonard Sadi Carnot (1796-1832), em meados do século XIX, trouxe uma revolução no pensamento

científico europeu da época, pois vislumbrou uma relação importante entre diversos fenômenos físicos e químicos. Também representou um avanço tecnológico interessante, possibilitando a construção de máquinas cada vez mais eficientes.

Trazendo para os dias atuais, a noção de conservação de energia é essencial para explicação do funcionamento de aparelhos que utilizamos, em situações cotidianas, como chuveiros elétricos, lâmpadas, motores de todos os tipos. Na Física, esse conceito é fundamental para a compreensão de fenômenos quânticos e relativísticos. Um exemplo é a famosa relação entre massa e energia proposta por Albert Einstein em 1905 na sua Teoria da Relatividade, dada pela equação $E=mc^2$. Essas ideias são base das pesquisas desenvolvidas atualmente em Física.

Pensando no experimento proposto nesta primeira parte da pesquisa, surge a discussão sobre como se dão os processos de conservação de energia dentro da mecânica. É importante ressaltar que a conservação de energia é aplicada de maneira semelhante dentro dos diversos fenômenos físicos, como foi exemplificado anteriormente. O que muda são as variáveis consideradas pelo sujeito para compreender essa conservação. A ideia aqui é compreender a noção de conservação de energia que o sujeito utiliza para compreender um problema físico, considerando as variáveis inerentes a um fenômeno da mecânica.

As ideias de conservação de energia na mecânica começaram com Lagrange (1736-1813) que, em 1788, distinguiu, a partir da natureza dos fenômenos mecânicos, dois tipos de energia: energia cinética e energia potencial.

Dizemos que um corpo de massa m tem energia cinética quando ele tem uma velocidade v associada a ele. Podemos expressar matematicamente como:

$$K = \frac{1}{2} (mv^2) \quad (\text{equação 1})$$

K representa a energia cinética. Podemos observar a dependência entre a velocidade e a energia cinética, sendo que a análise da primeira dará a dimensão da última.

Já a energia potencial está relacionada a uma energia armazenada devido a uma posição que o corpo ocupa em um determinado instante de tempo. Existem dois tipos de energia potencial na mecânica: gravitacional e elástica.

A energia potencial elástica é proporcional à compressão ou expansão x de um material elástico de constante elástica k , e pode ser transferida para um corpo no momento em que esse material é liberado. Podemos citar, como exemplo, o uso da borracha em um arco para arremessar uma flecha ou a ação das molas de um carro. Matematicamente esta grandeza é dada por:

$$U_{el} = \frac{1}{2} (kx^2) \quad (\text{equação 2})$$

U_{el} é a energia potencial elástica. Novamente vemos a dependência entre a energia e a variável relacionada ao fenômeno que lhe dá origem. No caso, entre a energia potencial elástica e a deformação de um material elástico.

A energia potencial gravitacional está associada à altura h que um corpo de massa m , sob a ação da gravidade g , tem em relação a um determinado referencial. Podemos citar como exemplo uma laranja que se encontra presa no alto de uma árvore plantada em um terreno plano, alinhado com a direção horizontal. Considerando um referencial cuja origem se encontra no solo e tem uma direção perpendicular ao terreno considerado, a energia da laranja é proporcional à altura que ela ocupa em relação ao solo. Matematicamente, temos que:

$$U_g = mgh \quad (\text{equação 3})$$

U_g é a energia potencial gravitacional. Cabe notar que a altura é a variável que dará a dimensão da energia potencial do corpo.

Analisando as modificações dessas energias no tempo, podemos identificar as transformações que ocorrem em um experimento mecânico. Então, a partir do princípio da conservação de energia, nota-se que a energia mecânica total de um sistema permanece constante mesmo com as variações das energias potencial e cinética. Isto é, a

relação entre as variáveis do sistema é tal que permite que essa quantidade seja conservada. Matematicamente podemos dizer que:

$$E_{MI} = E_{MF} \quad (\text{equação 4})$$

E_{MI} é a energia mecânica total inicial, dada pela soma das energias potencial (gravitacional e elástica) e cinética que o sistema possui inicialmente, e E_{MF} é a energia mecânica total final, dada pela mesma soma de energias anterior, mas levando-se em conta agora os valores no instante final considerado pelo observador.

Como ilustração, podemos retomar o exemplo da laranja. Quando se encontra no alto da árvore, a laranja tem uma energia potencial gravitacional que corresponde à energia mecânica total naquele momento. No instante em que ela começa a cair, essa energia potencial gravitacional começa a se transformar em energia cinética, entretanto, em qualquer instante dessa queda, ao somarmos os dois tipos de energia, teremos o mesmo valor da energia mecânica que havia no início.

Dessa forma, podemos resolver inúmeros problemas físicos, em diferentes campos desta ciência, ao identificar as energias referentes às diversas variáveis que esses problemas apresentam considerando que, na soma de todas essas energias, em qualquer instante de tempo, existe uma quantidade que se mantém.

2. Conservação de energia e Epistemologia Genética

O grande físico Richard P. Feynman, prêmio Nobel de Física em 1965, referia-se à conservação de energia da seguinte maneira:

[...] há uma certa quantidade, a que chamamos energia, que não varia durante as diversas mudanças que a natureza sofre. Esta é uma ideia muito abstrata porque é um princípio matemático. Não é a descrição de um mecanismo, nem algo de concreto: é justamente um fato estranho que possamos calcular um dado número e que, quando observamos a natureza, depois de levar a cabo as suas habilidades, ao calcularmos o número de novo, ele é o mesmo. (Feynman, Leighton, Sands, 1970, p. 4)

Entendo que essa ideia corrobora os estudos da Epistemologia Genética, no sentido de compreender o conceito de energia como algo que depende da interação entre o sujeito (o que faz os cálculos) e o objeto (a natureza). Considero que o “fato estranho” ao qual Feynman referia-se é exatamente a forma como o sujeito consegue compreender a natureza. É a estrutura lógico-matemática do pensamento do sujeito que possibilita compreender as propriedades dos objetos que estão ao seu redor.

Esse processo demanda que o sujeito experimente, ou seja, que possa agir sobre o objeto de modo a tentar dar conta de suas características. Nisso podem resultar desequilíbrios que exigem que o sujeito se reorganize para que esse objeto seja compreensível para ele. Dessa forma, o sujeito evolui na construção de seu conhecimento.

Jean Piaget (1974a/1977, p. 199) concebe esse processo como tomada de consciência. Ele afirma que “[...] a tomada de consciência orienta-se para os mecanismos centrais C da ação do sujeito, ao passo que o conhecimento do objeto orienta-se para suas propriedades intrínsecas C””, sendo que “são sempre correlativas, constituindo a lei essencial da compreensão dos objetos como da conceituação das ações”. Assim, o conhecimento não vem do sujeito, nem do objeto, mas da interação entre eles, a partir de um ponto P periférico aos dois, como mostra a figura 1 (Piaget, 1974a/1977, p. 199).

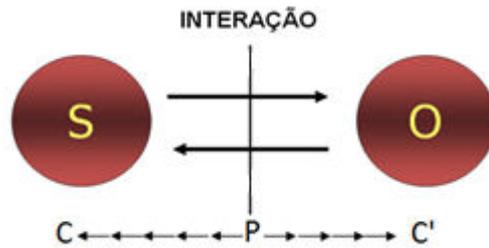


Figura 1 - Esquema da Tomada de Consciência (Piaget, 1974a/1977, p. 199, com modificações)

Feynman já dá uma pista disso, mas como o problema da conservação de energia pode ser analisado através dessa ótica? A conservação de energia depende da relação que o sujeito faz entre as variáveis relacionadas à energia do sistema. Ao analisar o resultado de suas experimentações, o sujeito realiza inferências que são cada vez mais refinadas, devido ao avanço das coordenações de suas ações. Logo, ele poderá conseguir aproximar-se cada vez mais de um conceito científico de conservação de energia. Ou seja, ao construir uma lógica, a partir do centro C, para explicar o funcionamento de um sistema físico, o sujeito passa a compreender, indo para o centro C', as propriedades desse sistema.

É importante analisar as estruturas cognitivas que permitem ao sujeito as inferências que ele realiza na experimentação. A solução de um problema de conservação exige reversibilidade do pensamento, ou seja, a capacidade do sujeito de relacionar apenas em pensamento o início com o fim de um evento, podendo voltar ao instante anterior ao fim ou ir ao instante posterior ao início. A reversibilidade do pensamento é explorada em diversas pesquisas de Piaget sobre a conservação, como ocorre com a substância, o peso e o volume (Piaget e Inhelder, 1941/1975).

A reversibilidade do pensamento pode ser de duas formas (Inhelder e Piaget, 1955/1976): inversão e simetria (também conhecida por reciprocidade). A inversão pode caracterizar-se como uma volta ao início devido à anulação de um termo. Por exemplo, em uma balança que está em desequilíbrio, porque uma das partes possui um peso, podemos restaurar o equilíbrio ao retirar este peso, caracterizando uma operação de inversão. Já por simetria podemos voltar ao início através de uma compensação dos termos. Retomando o caso da balança, em uma operação de simetria, podemos reequilibrá-la colocando no outro lado da balança um peso de mesma massa, à mesma distância do eixo ou com o dobro da massa e na metade da distância.

É a conquista dessa capacidade que torna operatório o pensamento do sujeito, constituindo uma estrutura que em pouco tempo se tornará capaz de ultrapassar o real e abrir condições para a elaboração de hipóteses. Piaget (1970/1971, p.48) afirma que “a primeira característica das operações formais é a de poder recair sobre hipóteses e não mais apenas sobre os objetos [,pois] as hipóteses não são objetos, são proposições, e seu conteúdo consiste em operações intraproposicionais de classes, relações, etc.”. Logo, são as hipóteses que permitem ao sujeito operar sobre as variáveis (proposições) de um problema e antecipar todas as combinações possíveis entre elas, e levá-lo, pela via dedutiva, às conclusões sobre as propriedades intrínsecas dos objetos.

No âmbito da conservação de energia, é possível analisar a reversibilidade através do comportamento das diferentes energias no sistema. Por exemplo, podemos imaginar uma rampa de skate, como mostra a figura 2, na qual, no ponto mais alto, o skatista tem uma energia potencial gravitacional em relação a um referencial no solo. Ao começar a deslizar pela rampa, essa energia começa a diminuir de valor ao mesmo tempo em que o skatista ganha energia cinética. Dessa forma, ocorre uma inversão na relação de energias, isto é, uma forma de energia anula o efeito da outra, garantindo a transformação de um tipo de energia em outra.

No entanto, a energia total do sistema se conserva. Dessa maneira, existe uma simetria que garante que, em todos os instantes de tempo, exista a conservação da energia mecânica. Logo, a compreensão desse conceito passa por relacionar as transformações de energia com uma simetria no tempo, que possibilita a ideia de que, por mais que haja mudanças nos valores das energias do sistema, existe um valor que permanece constante no tempo.



Figura 2 – Skatista em uma rampa.

Sendo assim, de que maneira essas operações realizadas pelo sujeito se manifestarão de forma consciente? Piaget (1974b/1978, p.178) afirma que

[...] a operação não é a representação de uma ação: ela é ainda uma ação, visto que é construtora de novidades, mas é uma ação 'significante' e não mais física, porque os meios que utiliza são de natureza implicativa e não mais causal

O autor chama de implicação significativa a conexão entre essas significações realizadas em pensamento pelo sujeito.

O esquema da tomada de consciência torna-se ainda mais claro nas implicações significantes. É utilizando-se da sua lógica e relacionando todas as variáveis encontradas no problema que o sujeito consegue uma rede de conexões que possibilita hipóteses, as quais o aproximam das razões físicas causais.

Considerando o problema da conservação de energia, as operações de inversão entre as energias do sistema e a simetria no tempo, apresentadas anteriormente, encontram-se conscientes no pensamento do sujeito através dessas implicações significantes que fazem a ligação entre as variáveis relativas a essas energias. Retomando o exemplo da rampa de skate, as operações de inversão resultam em uma implicação significativa com a qual o sujeito determina que uma diminuição da altura (diminuição da energia potencial gravitacional) implica um aumento da velocidade (aumento da energia cinética). Já a operação de simetria resulta em implicação significativa com a qual o sujeito irá considerar que a relação entre as variáveis do sistema, presentes na primeira implicação descrita, ocorre de tal forma que implica um valor que é constante em todos os instantes de tempo.

[...] o sistema das implicações significantes fornece um elemento que não é compreendido, nem nos objetivos, nem nos meios empregados: é a determinação das razões, sem as quais os sucessos representam fatos sem significado. Resumindo, compreender consiste em isolar as razões das coisas [...] (Piaget, 1974b/1978, p.179)

Creio que será possível, através desse caminho, em que todo o processo cognitivo do sujeito é considerado, analisar e entender como se dá a sua compreensão da situação experimental proposta nesta pesquisa. E, conseqüentemente, de sua noção de conservação de energia.

3. Metodologia

3.1. Os sujeitos

Os sujeitos da pesquisa foram alunos do ano de 2011 de uma escola de ensino médio da rede estadual de ensino, localizada na zona leste da cidade de Porto Alegre. Esses alunos foram convidados em suas salas de aula, mediante a autorização da diretoria da escola. Sua adesão foi voluntária, efetivada a partir da assinatura do termo de consentimento autorizado e esclarecido (conforme Apêndice 1). Foram entrevistados 17 sujeitos, com idade entre 16 e 18 anos.

3.2. Procedimentos para a coleta de dados

As entrevistas foram realizadas no período de uma semana em uma sala reservada da escola, onde foi instalado o experimento proposto pela investigação. Cada entrevista foi individual, realizada em uma única sessão e durou em média 20 minutos. Os dados foram coletados através de um gravador de áudio ligado durante todo o procedimento.

3.3. Instrumentos para a coleta de dados

A orientação metodológica da pesquisa é baseada no método clínico piagetiano, cuja aplicação encontra-se presente em grande parte das obras da Epistemologia Genética (Vinh-Bang, 1970), especialmente aquelas que divulgam pesquisas realizadas pela Escola de Genebra. O método clínico é um instrumento de coleta e análise de dados que possibilita a compreensão do pensamento dos sujeitos, cujo desempenho é acompanhado durante uma entrevista, feita geralmente sobre o desenrolar de experimentos; uma característica marcante é a sua grande flexibilidade diante das inúmeras possibilidades que costumam surgir durante o procedimento. Segundo Collares (2007, p.78)

O método clínico tem, em sua essência, o objetivo de situar a ação ou a resposta do sujeito em um contexto mental. Esse contexto, por sua vez, apresenta-se como possibilidade de análise e levantamento de hipóteses

Sendo assim, o pesquisador deve ser muito ágil na formulação de suas hipóteses, a partir das quais formula perguntas, a partir de cujas respostas, dadas pelos sujeitos da pesquisa, possa entender os caminhos da lógica dos mesmos manifestada durante a experiência. No entanto, o pesquisador deve tomar cuidado para não sugerir respostas em um determinado sentido ou deixá-los totalmente livres sem objetivos.

Esta metodologia guiou a construção e as formas de exploração das variáveis inerentes à situação experimental descrita a seguir.

3.3.1. Situação experimental: identificação e coordenação entre as variáveis relativas à conservação de energia

Nesta investigação foram apresentados para o sujeito esferas de vidro, idênticas em massa e volume, três trilhos que descrevem caminhos diferentes, como mostra a figura 3, colocados lado a lado e presos através de um suporte comum (representado pelas linhas tracejadas na figura) e três trilhos extensores que poderão ser encaixados no final dos trilhos a uma inclinação de 45° .

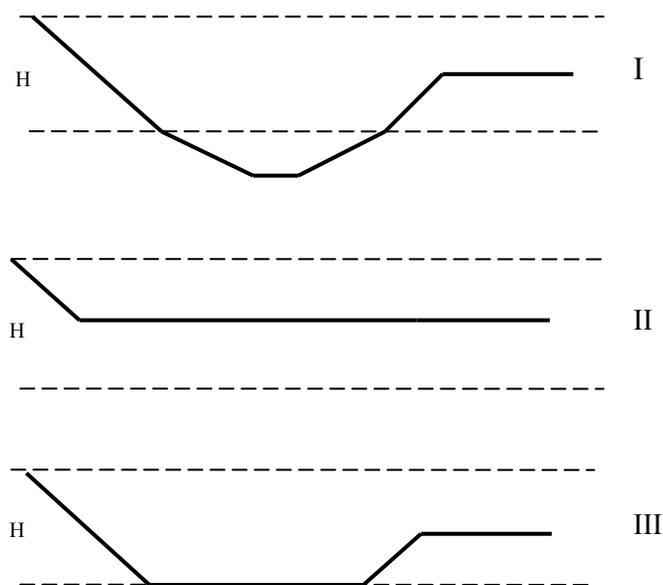


Figura 3 – Esquema dos trilhos que compõem o dispositivo construído para o experimento.

Quando se solta uma esfera do início do trilho I, ela chega ao seu final em um tempo T . Já no trilho II seu percurso é realizado em um tempo T' . No trilho III, o tempo em que a esfera completa esse trajeto é T'' sendo $T'' < T < T'$. É importante notar que todos os trilhos têm sua posição de partida na mesma altura H em relação à base do suporte.

Nas figuras 4, 5, 6 e 7, mostradas a seguir, são apresentadas imagens do dispositivo construído para esse experimento.



Figura 4 – Imagem lateral do dispositivo mostrando o caminho do trilho I e, ao fundo, do trilho II.



Figura 5 - Imagem lateral do dispositivo mostrando o caminho do trilho III e, ao fundo, do trilho II. Também é mostrada a régua usada para garantir que todas as esferas saiam ao mesmo tempo.

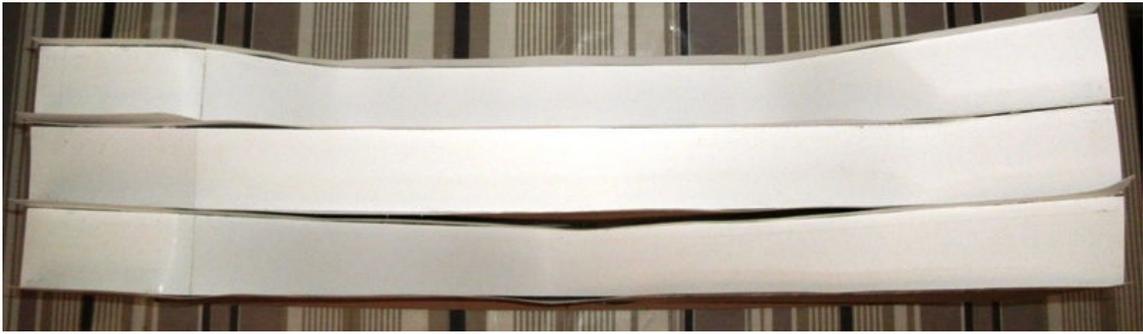


Figura 6 – Foto de topo do dispositivo mostrando os três trilhos.



Figura 7 – Foto de frente do dispositivo mostrando os três trilhos e, ao fundo, os trilhos extensores.

3.3.2. A entrevista

Na entrevista, embasada no método clínico, o pesquisador elabora um protocolo em que ele coloca seus objetivos e suas linhas gerais de exploração do experimento, mas que pode ser reformulada a qualquer momento em função das ações do sujeito durante a entrevista. Segundo Delval (2002), esse protocolo precisa conter três tipos de perguntas básicas:

- Perguntas de exploração: questionamentos que tendem a desvelar a noção da existência e da estruturação que se busca.
- Perguntas de justificação: questionamentos que obrigam o sujeito a legitimar o seu ponto de vista.
- Perguntas de controle: questionamentos que buscam a coerência ou contradição das respostas através da contra-argumentação ou contradição.

Sendo assim, com base nesses três tipos de perguntas básicas do método clínico, foram feitos os seguintes questionamentos sobre a situação experimental proposta:

1) Perguntas de exploração:

1.1) Se você soltar uma esfera no trilho I e outra no trilho II ao mesmo tempo (situação 1), o que você espera que aconteça em relação ao tempo em que realizam o percurso? Serão iguais? Serão diferentes? Se diferentes, qual percorrerá em maior tempo? E com relação à velocidade de chegada de cada esfera? Serão iguais? Serão diferentes? Se diferentes, qual terá maior velocidade na chegada? (Realiza-se o experimento) O que você observou? Confirma suas expectativas?

1.2) Se você soltar agora uma esfera no trilho II e outra no trilho III ao mesmo tempo (situação 2), o que você espera que aconteça em relação ao tempo em que realizam o percurso? Serão iguais? Serão diferentes? Se diferentes, qual percorrerá em maior tempo? E com relação à velocidade de chegada de cada esfera? Serão iguais? Serão diferentes? Se diferentes, qual terá maior

velocidade na chegada? (Realiza-se o experimento) O que você observou?
Confirma suas expectativas?

2) Perguntas de justificação:

2.1) Analisando o ocorrido nas situações 1 e 2, do que depende o tempo de percurso da esfera?

2.2) Do que depende a sua velocidade de chegada?

3) Perguntas de controle:

3.1) Vamos retomar as situações 1 e 2, só que agora colocando um trilho extensor inclinado na ponta de cada trilho. Qual a sua expectativa em relação à altura máxima que cada esfera vai alcançar em cada um dos trilhos? (Realiza-se o experimento, no qual todas as esferas atingem a mesma altura). O que você observou? Confirma suas expectativas?

3.2) O resultado obtido confirmou suas observações anteriores? Se sim, justifique. Caso contrário, como você pode explicar o que aconteceu?

4. Apresentação, análise e discussão dos dados

O objetivo da situação experimental foi analisar se a noção que o sujeito utiliza para dar conta da situação proposta se aproxima do conceito de conservação de energia da Física, mesmo que não se refira a esse termo. Esse experimento possibilitou a investigação da forma como o sujeito coordena e faz implicação entre as variáveis referentes às energias presentes no problema e como ele trabalha em seu pensamento as reversibilidades que a situação apresenta, em especial as inversões entre energia potencial gravitacional e energia cinética e a simetria no tempo para a energia total do sistema.

Como ponto de partida da investigação, tendo como referência as pesquisas de Piaget, foram considerados na pesquisa três prováveis níveis de complexidade da noção de conservação de energia:

Nível I: Os sujeitos não realizam implicações entre as variáveis relacionadas à energia e não conseguem compreender a simetria no tempo para a energia total do sistema.

Nível II: Os sujeitos realizam implicações entre as variáveis referentes à energia, compreendem a simetria no tempo para a energia total do sistema.

Nível III: Os sujeitos deste nível têm consciência das implicações entre as variáveis referentes à energia e compreendem a simetria no tempo.

Na análise dos dados coletados, essas hipóteses foram reafirmadas nos seus aspectos gerais, mas ganharam alguns contornos diferenciados a partir das reflexões sobre os dados obtidos. Dessa forma, as hipóteses foram de fundamental importância na compreensão e organização das noções apresentadas pelos sujeitos pesquisados neste estudo.

A seguir, as respostas dos sujeitos entrevistados serão apresentadas e discutidas a partir dos níveis encontrados para a noção de conservação de energia.

4.1. Nível I – Não conservação das variáveis referentes à conservação de energia na Física

Os sujeitos, neste nível, ainda não conseguem conservar as variáveis referentes à conservação de energia tanto na inversão de uma energia potencial gravitacional em uma cinética, quanto na simetria que garante a conservação da energia total do sistema. Para explicar o movimento eles recorrem à ação de uma força externa ou a um impulso.

Outro fator considerado é a influência da própria trajetória da pista nessa conservação. Apesar de serem desafiados pela “quase” (assim considerada por eles) igualdade de alturas nos trilhos extensores, os sujeitos deste nível renegam esse dado e justificam a quase igualdade com a eliminação de algum elemento dessa trajetória, o que determinará a altura máxima obtida. Dos 17 sujeitos pesquisados, cinco se enquadraram neste nível.

Trago, como exemplo do que foi exposto, a entrevista do sujeito 10:

Suj.10 (18 anos) – Tu achas que as bolinhas vão chegar lá no final do trilho I e II em tempos iguais ou diferentes? **Diferentes**². Qual chegará primeiro? **No trilho II, porque é mais curto o caminho e no I tem uma lomba que depois no final ela perde velocidade.** E as duas chegam com a mesma velocidade no final ou são diferentes? **Diferentes.** Então, qual chegará primeiro? **Na II.** Por que achas isto? **Como te disse, a II vai direto e a I ela perde velocidade no final.** (Soltam-se a esfera do ponto inicial nos trilhos I e II). O que observaste? **Acho que iguais. Faz de novo.** (Soltam-se novamente). O que observaste? **O trilho II chega primeiro.** Como tu justificas isso? **No trilho II tem uma lomba e segue reto e no trilho I tem uma lomba grande no final que faz com que a bolinha perca velocidade.** E a velocidade no final? **Na II também pelo motivo de que na I tem a lomba maior no final.**

Em seguida, faz-se o mesmo procedimento descrito só que com os trilhos II e III. Nessa etapa, o sujeito mantém a mesma argumentação ao dizer que no trilho II a esfera chegaria mais rápido e mais veloz que na III:

Vou colocar agora duas rampas lá no final (acrescentam-se os trilhos inclinados) dos trilhos I e III. Tu achas que elas chegarão à mesma altura ou alturas diferentes? **Diferentes.** Quem chegará mais alto? **A bolinha do trilho I.** Como tu justificas isto? **No trilho I tem uma lomba maior no início do que a III, então talvez pegue mais impulso e chegue mais alto.** (Soltam-se as esferas no trilho I e depois no III e pede-se que sejam comparadas as alturas que cada um chega). O que observaste? **No trilho I realmente chega um**

² Nas entrevistas apresentadas, as partes em negrito correspondem às falas dos sujeitos.

pouco mais alto. Existe a possibilidade das duas esferas chegarem à mesma altura? **Não, só se colocasse um impulso ou uma força ou se jogassem de alturas diferentes para uma ter menos impulso que a outra.**

Desde o início da entrevista, o sujeito interpreta as variáveis do problema em função da trajetória, como se cada elemento desse caminho realizasse uma mudança nos aspectos globais dessa conservação. Ou seja, como se o fato de o caminho possuir uma lombada, trilho I, fosse incompatível com um caminho reto, trilho II, em termos de comparação para a velocidade. Essa não conservação apresenta-se quando ele afirma que a lomba grande, no final do trilho II, faz com que a esfera perca velocidade, não levando em consideração que ao mesmo tempo ela ganha uma velocidade maior ao descer a lomba inicial, o que garantiria, por simetria, uma velocidade igual no final dos dois trilhos.

Essa ideia repete-se quando da análise das alturas no trilho extensor. Ele considera impossível que as bolinhas consigam chegar à mesma altura em trilhos diferentes. Para que isso aconteça, o sujeito recorre à ação de um impulso externo ou de uma redução das alturas, sendo que esta redução está ligada ao fato de encurtar o tamanho da trajetória ou dar um impulso para que supere o formato dos trilhos. Assim, não há uma conservação na inversão de velocidade e altura, mas esta relação é mediada necessariamente pelo formato dos trilhos e só possível através de um impulso ou força.

4.2. Nível II – Não conservação da energia total do sistema, mas com conservação da inversão entre energia cinética e potencial

Neste nível, o sujeito ainda não consegue desligar-se da trajetória que considera fundamental para determinar o valor total da energia de um sistema. No entanto, concebe a possibilidade de que exista uma relação de inversão entre a velocidade, variável relacionada à energia cinética, e a altura, relativa à energia potencial gravitacional, e que exista uma dependência entre velocidade e altura, no qual as forças externas não são consideradas. Dos 17 sujeitos pesquisados, nove se enquadraram neste nível.

Como ilustração, trago a entrevista do sujeito 9.

Suj. 9. (17 anos) – Partindo do ponto inicial as duas chegarão ao final do trilho I e II ao mesmo tempo ou diferentes? **Acho que vai ser diferente.** Qual chegará primeiro? **No trilho II, pois ela é mais reta e mais rápida.** E a velocidade das duas será igual ou diferente na chegada? **Acho que diferentes.** Qual terá a maior velocidade? **Acho que na rampa I porque ela tem mais “volta” (curva).** (Soltam-se a esfera do ponto inicial nos trilhos I e II) O que observaste? **Na I chegou primeiro. Faz de novo.** (Soltam-se novamente) **É foi na I, ela chegou mais rápida e com mais velocidade que a II.** Por que tu achas que aconteceu isto? **Pode ser por causa da curva ela pega mais velocidade.**

Segue com a mesma ideia no experimento dos trilhos II e III

Vou colocar agora duas rampas lá no final (acrescentam-se os trilhos inclinados) das rampas I e III, tu achas que elas chegarão à mesma altura ou alturas diferentes? **Chegarão a alturas diferentes.** Como justificas isto? **Como a I pega mais embalo por causa da curva, ela deve ir mais alto.** (Soltam-se as esferas no trilho I e depois no III e pede-se que sejam comparadas as alturas a que cada um chega). O que observaste? **Acho que na I chega um pouco mais alto. Faz de novo.** (Repete-se o procedimento). O que observaste? **É quase igual, mas acho que a I ainda vai mais um pouquinho.** Do que depende essa altura que tu observaste? **Acho que depende dessa curva mesmo, que é o caminho que elas andam.** Tu achas que isto tem alguma relação com a altura inicial que eu solto as esferas? **Tem a ver porque vão mais ou menos longe só que isso é igual pras duas, mas o caminho é mais importante.**

Novamente aparece, desde o início, uma dependência da trajetória. O sujeito, no entanto, começa a relacionar a altura e a velocidade de maneira estrita, segundo a qual uma descida maior, chamada pelo sujeito de “curva”, resultaria em um ganho de velocidade maior. Tanto é que no experimento entre os trilhos I e II, o sujeito garante que a velocidade de chegada no trilho I será maior que no II, apesar do II chegar primeiro por ser mais plano.

Na segunda parte do experimento, na qual se acrescentam os trilhos extensores, essa justificativa continua sendo mantida, de tal modo que na comparação entre I e III, o sujeito acredita que a esfera do trilho I deve chegar mais alto, mesmo que seja “quase igual” como ele mesmo diz. Isso é, quanto mais profunda for a “curva”, maior a possibilidade de adquirir velocidade. Assim, diferentemente do nível I, esses sujeitos não recorrem à ação de uma força externa ou impulso aplicado sobre o sistema para garantir um determinado resultado na altura.

No entanto, essa implicação que garante a inversão entre essas variáveis ainda não é combinada com a simetria no tempo que garante a conservação da energia total do

sistema. A variável da trajetória não foi descartada, impedindo que esses sujeitos consigam compreender que existe a possibilidade das esferas chegarem à mesma altura.

4.3. Nível III – Conservação das variáveis referentes à conservação de energia na Física

Neste nível, os sujeitos rapidamente conseguem chegar à inversão entre as energias cinética e potencial, não apelando para alguma força externa ou impulso. Diferenciam-se do nível anterior, pois conseguem coordenar essa inversão com uma simetria no tempo entre as energias cinética e potencial, o que garante a conservação da energia total do sistema. Reconhecer essa simetria permite ao sujeito excluir os fatores relacionados com a trajetória dos trilhos e explica a igualdade de alturas obtidas na etapa do trilho extensor. Dos 17 sujeitos pesquisados, três se enquadraram neste nível.

Trago a entrevista do Sujeito 4, como exemplo.

Suj. 4 (18 anos) - Tu achas que as bolinhas vão chegar lá no final do trilho I e II em tempos iguais ou diferentes? **Tempos diferentes.** Qual chegará primeiro? **No trilho I ela ganha velocidade na descida, mas perde do mesmo jeito na subida. No trilho II desce, mas segue com a mesma velocidade até o final. Acho que deve chegar mais rápido na II.** E a velocidade será a mesma ou diferentes para cada bolinha? **Acho que será a mesma porque o que no trilho I ganha com a descida ele perde na subida. Aí fica a mesma.** (Soltam-se as esferas). O que observaste? **No trilho I chega primeiro. Acho que pelo motivo que te disse antes, ela ganha velocidade na descida e perde na subida.** E a velocidade de chegada? **Acho que a I chega com mais velocidade.**

Em seguida, faz-se o mesmo procedimento descrito, só que com os trilhos II e III. Inicialmente, ele retoma a hipótese de chegar no II mais rapidamente e agora atribui ao III maior velocidade. Após o experimento, ele chega à conclusão de que no III ela chegaria mais rápido e seria mais veloz, da mesma maneira como se convenceu na etapa anterior.

Vou colocar agora duas rampas lá no final (acrescentam-se os trilhos inclinados) dos trilhos I e III, tu achas que elas chegarão à mesma altura ou a alturas diferentes? **Acho que diferentes.** Qual chegaria com altura maior? **O trilho I.** Como justificas isso? **Talvez pela lomba ser maior.** (Soltam-se as esferas no trilho I e depois no III e pede-se que sejam comparadas as alturas a que cada um chega). O que observaste? **Quase igual.** Quer fazer de novo? **Sim.**

(Repete-se o procedimento duas vezes, sempre com a dúvida da igualdade de alturas). O que observaste desta vez? **É igual!** (Mostra-se convencido). Como justificas isso? **Acho que tem a ver com essas lombas delas, porque a queda do trilho I é maior, mas a descida também é maior. No trilho III, a queda é menor, mas a subida também é menor. Então, compensa e chega à mesma altura.** (Nestes procedimentos, aponta estas “quedas” e “subidas” relativas às alturas dos trilhos).

Da mesma forma que os sujeitos do nível II, o sujeito 4 relaciona o aumento ou diminuição de velocidade com a variação de altura. Entretanto, há uma dúvida se isso garante que as duas esferas chegarão com a mesma velocidade no final do percurso, pois existe uma compensação. Na sua hipótese inicial, o sujeito 4 considera a combinação entre a inversão e a simetria, mas recua na primeira observação, de tal forma que considera a esfera do trilho I mais veloz, confundindo a velocidade com seu tempo de chegada.

Entretanto, durante a etapa com o trilho extensor, o sujeito 4 retoma sua hipótese no momento em que as duas esferas atingem a mesma altura. Nesse caso, ao invés de atribuir essa constatação à trajetória, ele volta a explicar por uma compensação entre a velocidade e a altura, considerando esse caso como geral devido ao fato das esferas serem soltas da mesma altura nos trilhos.

É possível, pois, compreender através das respostas dos sujeitos deste nível, aqui ilustradas pelas afirmações do sujeito 4, que a conservação de energia depende não somente da operação de inversão entre as variáveis referentes às energias cinética e potencial, mas também da implicação entre essa operação e uma operação de simetria no tempo entre essas variáveis, reconhecendo a invariância da energia total do sistema. Isso exigiu que os sujeitos desse nível inserissem essas operações em uma totalidade maior, na qual se coordenaram a inversão e a simetria. A consequência desse processo foi a construção de uma noção de conservação de energia num sentido próximo ao conceito equivalente assumido pela Física.

5. Conclusão da parte I

Neste estudo, que corresponde à primeira parte desta pesquisa, encontrei três níveis no que concerne à noção de conservação de energia:

- Nível I: Não conservação das variáveis referentes à conservação de energia na Física.
- Nível II: Não conservação da energia total do sistema, mas com conservação da inversão entre energia cinética e potencial.
- Nível III: Conservação das variáveis referentes à conservação de energia na Física.

Esses níveis apresentaram-se coerentes com as hipóteses propostas inicialmente e traçam um caminho interessante para a compreensão da noção de conservação de energia.

A evolução do nível I para o nível II caracteriza-se por superar o apelo à força ou ao impulso como explicação para a conservação das variáveis referentes à energia. Como previsto, a confusão entre força e energia fica evidente nos sujeitos do nível I, sendo que para eles somente um impulso ou ação de uma força externa garantiria uma possível conservação. No nível II, o sujeito começa a diferenciar essas noções sendo que a força parece ser excluída das argumentações.

Um traço comum entre os níveis I e II é a dependência da trajetória. A diferença é que no nível II os sujeitos reconhecem a função da altura e de sua relação com a velocidade. No entanto, mesmo com o início de uma relação entre a altura e a velocidade referentes, respectivamente, à energia potencial e à energia cinética, a relação com a trajetória impede que o sujeito reconheça a conservação da energia total do sistema.

Uma das minhas expectativas em relação ao fator trajetória era que aparecesse uma relação entre ela e a força de atrito, realizando um trabalho contrário ao movimento, retirando energia e surgindo uma não conservação. No entanto, os sujeitos desses níveis consideram a própria geometria das trajetórias como fatores para uma assimetria entre uma situação de energia total inicial e uma final. Soma-se a esse fato, a constatação no nível III, nível da conservação, da exclusão do fator trajetória.

Na análise do nível III, pude acompanhar o percurso do pensamento dos sujeitos entrevistados, verificando que eles não compareceram automaticamente nesse nível, mas foram chegando durante a própria entrevista. Primeiramente, reconheceram a operação de inversão entre a energia potencial e a energia cinética para, em seguida, conseguirem relacionar essas duas variáveis com a simetria no tempo, o que garante a conservação da energia total do sistema. Logo, a evolução das noções destes sujeitos seguiu a mesma ordem de sucessão das noções de níveis anteriores, o que me permite inferir que a progressão do pensamento, até se chegar à noção de nível III da conservação de energia, apresenta-se invariante.

Esse caminho mostra que a aprendizagem do conceito de conservação de energia não se realizará pela mera exposição do significado desse conceito na Física. Sua aprendizagem demanda ações do sujeito, mediante implicações lógicas que ele constitui para compreender o objeto e a experimentação. Isso aproxima o problema aos conceitos de interiorização lógico-matemática e de exteriorização físico-causal, proposta por Piaget, na obra *A tomada de consciência* (1974a/1977). Manifesta-se no esforço lógico de síntese e exclusão de variáveis que acompanha cada um dos níveis, possibilitando instrumentos de pensamento cada vez mais sofisticados para o sujeito; instrumentos que superam a observação física, até chegar à constituição de um modelo explicativo.

Considero que esta primeira parte do estudo possibilitou um ganho em compreensão dos meus objetivos de pesquisa. Pude aperfeiçoar meu instrumento de coleta de dados tanto na sua construção como no domínio do método clínico. Ao realizar as entrevistas, pude fazer uso de toda a flexibilidade que este instrumento possui para analisar as hipóteses dos sujeitos. Esta experiência me convenceu que um ensino inspirado no método clínico, foco da segunda parte do trabalho, é um instrumento que pode transformar a escola em um espaço de ação do aluno movida por seu interesse.

Neste momento, penso que é fundamental destacar a importância da busca do caminho lógico que realiza a evolução do pensamento do sujeito a respeito da conservação de energia e da análise que levou à delimitação dos níveis dessa noção. A investigação da lógica, utilizada pelos sujeitos para explicar a conservação de energia na situação experimental proposta, exigiu que me colocasse no ponto de vista do sujeito. Já a delimitação dos níveis exigiu que remetesse esse ponto de vista a um lugar de teorização no interior da Epistemologia Genética. Foi nesse caminho de análise que

pude coordenar outros elementos inesperados, surgidos na coleta de dados, e confirmar alguns caminhos. Dessa maneira, tomo consciência de meu objeto de pesquisa, compreendendo e delimitando meus objetivos, ao mesmo tempo em que me vejo assumindo uma ação docente-investigativa.

Concluo esta primeira parte com as palavras de um dos sujeitos da pesquisa, ditas ao final de sua entrevista: “Eu agora quero pegar um livro e olhar a teoria para ver se minhas respostas estão certas”. Compreendo que é nesse sentido que este estudo poderá auxiliar no contexto escolar: entender os alunos é saber de suas capacidades, de suas necessidades e também dos desafios que mobilizam sua vontade de conhecer.

**PARTE II – ENSINO DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA
COM UMA METODOLOGIA INSPIRADA NO MÉTODO
CLÍNICO PIAGETIANO**

6. Ensino de Física e Epistemologia Genética

Nesta segunda parte do trabalho tenho como objetivo trazer para o campo do ensino de Física ideias da Epistemologia Genética. Para isso, destaco dois fatores essenciais tanto para a explicação do desenvolvimento cognitivo, a partir da Epistemologia Genética, como para a explicação da origem das leis da Física: a experimentação e as relações entre conteúdos que possibilitam a criação de conceitos. A partir desses fatores proponho uma metodologia de ensino de Física que se baseia no desafio lançado aos alunos em sala de aula. Esse ensino busca propiciar a ação dos alunos sobre os conteúdos propostos e interrogá-los intensamente sobre suas percepções e compreensões, elementos-chave para a compreensão de uma lei física.

6.1. O papel da experimentação no ensino de Física

A experimentação é fundamental para a constituição das bases teóricas da Física. As leis elaboradas pelos físicos tentam explicar o funcionamento dos fenômenos naturais, sendo que tais leis somente terão validade se forem coerentes com resultados experimentais. No entanto, a complexidade dos experimentos está relacionada diretamente com o grau de formalismo das leis que se deseja comprovar através desse experimento. A evolução dos conceitos físicos demonstra isso. As primeiras ideias da Física partem dos experimentos simples de Galileu, que jogava objetos do alto de uma torre. Sua evolução nos trouxe, hoje, aos experimentos do LHC (*Large Hadron Collider*), que confirmou a existência do bóson de Higgs, experimentos que envolveram a colaboração de milhares de pesquisadores em busca da confirmação de uma teoria elaborada há mais de 50 anos. Em menos de quatro séculos, a experimentação em Física nos tirou da Torre de Pisa e nos levou ao Grande Colisor de Hádrons. Entretanto, no sentido oposto a esse movimento, a escola deixou em segundo plano a experimentação em sala de aula e continuou a ensinar Física apenas com giz e quadro negro.

O movimento que caracteriza essa relação entre a experimentação e a criação das leis da Física não parece ter um sentido único. Não é simplesmente a experimentação que determina o surgimento de leis físicas, pois um mesmo experimento físico pode ser explicado de modos completamente diferentes, dependendo da forma como o sujeito

interpreta tal experimento. Um exemplo são as explicações dadas por diferentes sujeitos a um experimento de queda livre de corpos em que duas bolinhas de massas diferentes são largadas de uma mesma altura (Luduvico, Frezza, Silva, 2009). A maior parte dos sujeitos afirma que a bolinha de maior massa chegará antes ao solo. Isso contraria a lei da Física que explica que o tempo de chegada ao solo para dois corpos que partem da mesma altura será o mesmo, independentemente do valor de suas massas. Ao ser realizado o experimento a inferência dos sujeitos não é verificada. No entanto, mesmo o experimento tendo sido repetido inúmeras vezes, os sujeitos ou reconheceram o resultado experimental, mas não conseguiram explicá-lo, ou mantiveram o seu modelo explicativo anterior e consideraram o resultado experimental impreciso.

Pode-se inferir do exemplo apresentado que a possibilidade de superação de uma noção de nível inferior, para uma noção que se aproxima do conceito científico, está na ação do sujeito ao realizar o experimento. Não podemos afirmar que os sujeitos que reconhecem a chegada simultânea, dos corpos ao solo, tenham necessariamente o conceito de queda livre pelo simples fato de acertarem a resposta após a experimentação. Entretanto, a ação desses sujeitos ao realizar o experimento pôs à prova as suas noções iniciais, sendo essas desestabilizadas após a experimentação. Isso não garante que surgirão novas noções, como foi constatado nas respostas após o experimento, porém abre espaço para o questionamento da noção inicial. Esse questionamento traz a possibilidade da formação de uma nova noção que tende a se aproximar progressivamente da lei física. Sendo assim, uma lei física não está pré-determinada na natureza, mas é uma conquista da inteligência humana a partir de suas ações na compreensão da natureza.

Baseado nesse papel transformador da ação, a Epistemologia Genética busca explicar a relação entre os papéis do sujeito e do objeto na construção do conhecimento. A ação do sujeito na realização do experimento possibilita que ele descubra novas propriedades do objeto sobre o qual age e, o que é ainda mais importante, tome consciência da função de suas ações. Ao mesmo tempo, o objeto impõe dificuldades de compreensão ao sujeito, o qual precisará reconstruir suas noções para poder dar conta desses desafios. Dessa forma, ao tentar interpretar o mundo, através da assimilação, o sujeito constrói-se a si mesmo, criando, através da acomodação dela decorrente, estruturas que interligam as noções, criando totalidades significativas.

Piaget (1957a/1978) afirma que “[...] nossos conhecimentos não provêm nem da sensação, nem da percepção somente, mas da ação inteira [...]”. Nesse sentido, a explicação da Epistemologia Genética para a construção do conhecimento diferencia-se radicalmente de uma teoria em que a constituição do conhecimento independe de estruturas cognitivas e baseia-se nas sensações, como o faz o empirismo ao afirmar um desenvolvimento sem estruturas; ou de outra em que o conhecimento é fundado na percepção e em estrutura sem desenvolvimento, como afirma o apriorismo. Piaget (1936/1978), ao contrário, propõe estrutura que é ao mesmo tempo estruturada e estruturante, isto é, que se modifica pelo funcionamento, configurando o desenvolvimento cognitivo. A possibilidade de o sujeito construir conhecimento reside na interação entre sujeito e objeto. Isso é, o sujeito age sobre o objeto tentando assimilar suas características e, ao mesmo tempo, modifica sua estrutura (acomodação) para resolver as dificuldades impostas pelo objeto. Logo, não há primazia do sujeito ou do objeto, mas um conhecimento que surge da relação entre eles produzido pela ação do sujeito, ao mesmo tempo assimiladora e acomodadora.

Entendo que a compreensão da Epistemologia Genética sobre o papel fundamental da ação pode contribuir para o ensino de Física. Nesse sentido, a experimentação abre caminho para a ação do aluno em sala de aula, criando um espaço no qual as noções dos alunos podem ser testadas, permitindo que eles construam para si o conhecimento a partir da apropriação de suas ações até a tomada de consciência de seus mecanismos íntimos. Becker (2001/2012) afirma que essa forma de compreender o fazer pedagógico funda um modelo epistemológico construtivista, modelo gerado no seio da Epistemologia Genética. O construtivismo é definido por Inhelder, Bovet e Sinclair (1974/1977) como um princípio explicativo que a cada nível de complexidade analisa as transformações que conduzem as novidades de um nível ao seguinte. Para o senso comum, a novidade pode significar simplesmente a criação de um conceito novo para a ciência. No entanto, também é uma novidade para o sujeito compreender os caminhos lógicos que levam ao entendimento de uma lei da Física. Como a criação de uma novidade na Física provém da ação transformadora do físico sobre a natureza, penso que o ensino deve possibilitar a construção de novidades na sala de aula através da ação do aluno, realizando experimentos de Física.

Piaget (1957a/1978) afirma que o sujeito pode realizar dois tipos de experimentação frente a um objeto: a experimentação física e a experimentação lógico-

matemática. Posteriormente, em seu livro sobre a abstração reflexionante (1977/1995), ele generaliza os termos expostos acima, ligando o conceito de experimentação física ao de abstração empírica e o conceito de experimentação lógico-matemática ao de abstração reflexionante.

Piaget (1977/1995) define a abstração empírica como um processo no qual o sujeito retira as informações dos observáveis físicos, ou seja, de suas ações sobre as características materiais dos objetos. Esse tipo de abstração acontece, por exemplo, quando o sujeito retira do objeto o volume e a massa. Nesse caso, ele retira propriedades físicas que são intrínsecas a esse objeto, as quais já se encontram no objeto antes da ação do sujeito.

A abstração reflexionante, ao contrário, retira propriedades das coordenações das ações do sujeito, inserindo características que não são observadas diretamente nos objetos, mas que surgem das ligações entre as ações que o sujeito realiza sobre o objeto. O mesmo sujeito que abstrai o volume e a massa de um objeto só chegará à noção de densidade ao relacionar essas duas variáveis em uma nova totalidade, na qual a razão entre massa e volume determinará, por exemplo, se um objeto irá afundar ou não quando colocado em uma cuba com água. Logo, a densidade não é uma propriedade material do objeto, mas é abstraído das coordenações das ações do sujeito sobre esse objeto.

O funcionamento da abstração reflexionante é explicado por Piaget (1977/1995) através de dois processos inseparáveis: o reflexionamento e a reflexão. Pelo reflexionamento o sujeito projeta em um patamar superior o que é retirado de um patamar inferior, como, por exemplo, no processo da ação à conceituação. Pela reflexão, o sujeito reorganiza e reconstrói, no patamar superior, aquilo que foi transferido de um patamar inferior. Esse processo permite compreender a evolução do desenvolvimento cognitivo humano, uma vez que o sujeito cria novas estruturas ao reconstruir, em um patamar superior, revestindo com um novo significado o que retirou do patamar inferior.

Retomo o exemplo da densidade. Massa e volume são propriedades físicas com características próprias, podendo ser abstraídas pelo sujeito em diferentes situações experimentais. No entanto, ao tentar interpretar um experimento que envolva o afundamento ou não de corpos em um recipiente com água, o sujeito possivelmente irá perguntar-se o porquê de existirem casos em que objetos de maior massa boiam e de

menor massa afundam. Isso inicialmente é contraditório para o sujeito, porém é coerente com a noção que ele utiliza para explicar o que acontece. No entanto, a contradição abre espaço para o questionamento da noção anterior, permitindo que o sujeito busque outras variáveis que inicialmente não eram consideradas, como o volume no caso do experimento acima. Ao conseguir ligar entre si as noções de massa e volume o sujeito “reflete” essas variáveis em um patamar superior, constituindo, através da reflexão, uma nova noção: a densidade. A densidade irá dar conta da explicação do afundamento ou não de um corpo, pois une as noções de massa e de volume em uma nova totalidade em que as duas variáveis devem ser analisadas em conjunto durante a experimentação. Dessa forma, o sujeito, a partir da coordenação de suas ações sobre o experimento, constrói, por abstração reflexionante, uma noção nova, criando uma estrutura que dará sustentação para que ele assimile outros casos que envolvam a noção de densidade. Ou seja, pode-se inferir que houve um desenvolvimento cognitivo no sujeito. A possibilidade de se desenvolver parte da ação do sujeito sobre o experimento e das transformações estruturais que ele precisa realizar para dar conta das dificuldades que o experimento impõe a ele.

Piaget (1977/1995) diferencia ainda duas formas de abstração reflexionante: a pseudo-empírica e a refletida.

A abstração pseudo-empírica ocorre quando o objeto é transformado pelas ações do sujeito, e enriquecido por propriedades retiradas de suas coordenações. Essa abstração é dita “pseudo-empírica”, pois o sujeito acredita de fato que as propriedades que ele retira na experimentação são intrínsecas ao objeto sobre o qual ele age; porém, essas características são abstraídas das ligações que ele realizou durante sua ação sobre o objeto. Como exemplo, analiso as noções de nível II obtidas na primeira parte deste trabalho. Os sujeitos desse nível compreendem que há uma inversão entre velocidade e altura, apesar de não conseguirem conservar essa simetria no tempo. Essa relação surge a partir da coordenação das ações do sujeito no experimento dos trilhos, pois essa inversão, na qual uma altura maior corresponderá a um ganho de velocidade maior e vice-versa, não está no objeto, mas nas coordenações das ações do sujeito, durante a experimentação. No entanto, por se utilizar do experimento para poder chegar a essa conclusão, tem-se a impressão que este dado seria proveniente de uma abstração empírica; isso é, que a relação entre velocidade e altura seria retirada da esfera que desce a rampa. Porém, uma relação não é uma propriedade material de um objeto, mas

algo que o sujeito projeta sobre os objetos como forma de interpretar suas transformações e constituir novidades; estas não emergem dos objetos, como na abstração empírica, mas das coordenações das ações do sujeito. Logo, esse processo caracteriza-se como uma forma de abstração reflexionante.

A abstração refletida resulta da tomada de consciência do processo de abstração reflexionante. Isso possibilita que o sujeito comece a operar no nível conceitual, grau elevado do desenvolvimento cognitivo humano. Os sujeitos que apresentam a noção de nível III da primeira parte desta pesquisa exemplificam esse conceito. Inicialmente esses sujeitos conseguem relacionar uma inversão entre altura e velocidade sem muita dificuldade. Porém, surge uma contradição no momento em que a rampa extensora é colocada nos trilhos. Inicialmente é difícil para o sujeito entender como partindo de uma mesma altura inicial a esfera chegará à mesma altura final, independentemente da trajetória que seguir. Dessa forma, o sujeito necessitará excluir o fator da trajetória e elevar a um patamar superior a relação entre velocidade e altura. A partir desse processo a relação entre velocidade e altura passará a não incluir somente a relação de inversão, mas também é reconhecida uma simetria no tempo entre essas variáveis, a qual se mantém invariante frente ao tempo. Reconhecer isso permite que o sujeito construa o conceito de conservação de energia, tal como conhecido pela Física. Piaget (1977/1995) explica esse processo como tematização, no qual o que era considerado instrumento de pensamento torna-se objeto de pensamento, ou seja, há uma reflexão sobre reflexões anteriores que possibilita ao sujeito encontrar as razões para o que antes era simplesmente constatado. A busca pela razão, processo realizado por abstrações refletidas, permite ao sujeito tomar consciência de suas ações, levando-o à construção de conceitos, nível elevado do pensamento humano. Piaget (1977/1995) salienta que apesar da abstração pseudo-empírica ser predominante no estágio pré-operatório e no operatório concreto e a refletida no estágio operatório-formal, ambas podem coexistir, mantendo essa assimetria, tanto nos níveis mais elementares do pensamento como nos níveis superiores, inclusive, no homem de ciência.

Pelo exposto acima, pode-se compreender, como afirma Piaget (1977/1995), que a evolução do pensamento conduz a uma assimetria entre as abstrações reflexionante e empírica, havendo uma subordinação da segunda em relação à primeira. Enquanto a abstração reflexionante recai sobre seu próprio mecanismo de reflexão sobre reflexões, a abstração empírica passa a depender sistematicamente da evolução dos mecanismos

da abstração reflexionante para aumentar seu poder de assimilação dos observáveis, sobretudo em complexidade. No entanto, a abstração empírica não desaparece nos níveis superiores de pensamento. Piaget (1977/1995) afirma, a propósito da abstração empírica que “[...] um fato novo, graças a ela inferido, pode contradizer um modelo explicativo até a sua completa eliminação” (Piaget, 1977/1995, p.291). Um exemplo é a procura pelo bóson de Higgs, no experimento do LHC. Apesar do modelo padrão de partículas ser estudado há mais de 50 anos, somente após a descoberta desse bóson, propriedade física da matéria, essa teoria ganhou validade como explicação da origem da massa na natureza. Isso corrobora a explicação da Epistemologia Genética para a construção do conhecimento, pois, como afirma Piaget (1977/1995), apesar de no nível da conceituação a abstração refletida afastar-se do apoio concreto para formar os pensamentos do sujeito, a procura pela coerência dessas ideias com a realidade traz a necessidade da busca pelo dado empírico. A complexidade dessas ideias dará a dimensão dos dados experimentais que se deseja obter.

Em suma, a experimentação não se limita à abstração de propriedades empíricas de um objeto. Ela vai além, no sentido de oportunizar a ação e a abstração de características a partir das coordenações das ações do sujeito sobre o objeto, processo de abstração reflexionante. Um ensino de Física focado na experimentação permite ao aluno elaborar ideias, levando em conta o dado empírico, mas não se restringindo a ele, tornando a sala de aula um espaço de construção de conceitos vivos e não apenas de reprodução de ideias contidas em livros didáticos.

6.2. A intradisciplinaridade e suas implicações no ensino de Física

Diversos trabalhos sobre interdisciplinaridade voltados ao ensino foram realizados nos últimos anos³. Nesses trabalhos, os autores relacionam diferentes áreas do conhecimento (como Física, Química, Matemática etc) procurando objetivos em comum entre essas disciplinas. No entanto, procuro nesta pesquisa uma relação que

³ Como mostra o levantamento realizado por Lara e Borges (2011) sobre teses e dissertações sobre interdisciplinaridade no Brasil.

considero anterior à interdisciplinaridade: a intradisciplinaridade entre os conteúdos de Física.

Penso que a própria Física divide suas áreas em conteúdos que são estudados separadamente. Por exemplo, a mecânica, a termodinâmica, o eletromagnetismo etc. A consequência na escola é que, ao invés de ser estudado um problema em sua complexidade, isso é, levando em conta todos os conteúdos da Física que estão envolvidos, isola-se cada problema em suas características pertencentes a uma determinada área da Física. Estudar a fundo um aspecto particular de um problema é fundamental para a compreensão de um conceito, porém, se não nos preocuparmos com a totalidade do problema, o que é particular perde o sentido. Logo, antes mesmo de procurar relações com outros campos do conhecimento, o ensino de Física deve buscar uma intradisciplinaridade, conectando diferentes áreas da Física com o objetivo de compreender os problemas físicos em sua totalidade e não como fenômenos que não se relacionam entre si.

Para exemplificar a importância da conexão entre diferentes conteúdos de Física na compreensão de um problema, analiso os processos físicos que estão presentes quando um corpo é lançado com uma determinada velocidade sobre uma superfície na qual o atrito não é desprezível. A sua velocidade dá a dimensão de sua energia cinética. Pela ação do atrito, sua velocidade irá diminuir, perdendo energia cinética até o momento em que ele entrará em repouso. Comenta-se em sala de aula que essa perda de energia se dá pelo trabalho dissipativo realizado pela força de atrito, logo não há conservação de energia no sistema mecânico. Entretanto, o princípio da conservação de energia é universal na Física, sendo mantido independentemente dos fenômenos físicos envolvidos em um problema. Para onde vai, então, a energia que é dissipada pela força de atrito? A energia cinética perdida pelo corpo transforma-se em energia térmica, que produz o efeito de aumentar a temperatura do próprio corpo e da superfície em que ele desliza. Porém, nesse caso, entra em cena um dilema pedagógico: (a) começa-se um debate sobre termodinâmica, trazendo um novo conteúdo para a discussão do problema, ou (b) mantém-se o problema centrado na mecânica, desprezando a influência da termodinâmica? Como mostram os livros didáticos de Física, em geral escolhe-se a abordagem (b). Contudo, quais seriam as implicações da escolha da abordagem (a)?

Penso que as ideias da Epistemologia Genética esclarecem uma dúvida que pode ocorrer ao professor: trabalhar conteúdos de diferentes áreas da Física, no sentido de promover a relação entre conteúdos dessa disciplina pode confundir as ideias dos alunos ou ampliar sua capacidade de criar novos conhecimentos? Entendo que o cerne da compreensão do papel da intradisciplinaridade no ensino de Física está ligada a diferenciação realizada por Piaget (1977/1995) entre forma e conteúdo em seu trabalho sobre a abstração reflexionante.

O conteúdo constitui-se dos observáveis. Se nos primeiros níveis esses observáveis formam-se a partir de dados retirados por abstrações empíricas, nos níveis superiores eles podem englobar estruturas do sujeito, sendo a base para as reflexões sobre reflexões, próprias da abstração refletida. Por outro lado, as formas permitem ao sujeito organizar esses observáveis em uma totalidade que reúne o que é comum entre eles. Sobre isso Piaget e Inhelder (1941/1975) afirmam que

[...] existe complementaridade total entre o conteúdo e a forma do pensamento, com o conteúdo consistindo nos dados do mundo tal como ele é percebido e a forma consistindo o único dispositivo que permite passar do estado T deste mundo para o estado T-1, ou seja, tornar a realidade reversível pelo pensamento. (Piaget e Inhelder, 1941/1975, p. 344)

Se a forma constitui a reversibilidade do pensamento, caminho necessário para a formação do pensamento operatório⁴, e permite a compreensão das relações comuns entre os conteúdos, ela é construída por abstração reflexionante. Nesse sentido, ao analisarmos a criação de formas através dos mecanismos da abstração reflexionante chegamos a um processo em espiral no qual “o reflexionamento de conteúdos (observáveis) supõe a intervenção de uma forma (reflexão), e os conteúdos assim transferidos exigem a construção de novas formas devidas à reflexão” (Piaget, 1977/1995, p.276). Nesse processo, as formas se enriquecem em seu poder generalizador e, como tais, passam a assimilar conteúdos mais complexos.

Retomo aqui o exemplo do corpo que desliza em uma superfície com atrito. O reconhecimento de uma energia cinética que está relacionada com a velocidade do corpo demanda a intervenção de uma forma, que permite ao sujeito assimilar mutuamente a velocidade e a dimensão da energia cinética do corpo. No entanto, essa

⁴ Como definido no capítulo 2 desta tese.

forma não explica a conservação de energia no sistema, uma vez que a energia cinética do corpo diminuirá durante o deslizamento por ação da força de atrito, chegando a zero no momento em que o corpo entrar em repouso. Para compreender o conceito de conservação de energia, o sujeito necessita considerar outra variável que seja responsável por compensar essa perda de energia cinética e manter a energia total do sistema inalterada. Essa variável está relacionada com o trabalho da força de atrito, que retira a energia do sistema mecânico e a transforma em energia térmica. Esse processo também demanda a intervenção de uma forma de modo que o sujeito consiga reconhecer a implicação entre o trabalho da força de atrito e o surgimento de uma energia térmica. A construção de uma forma, relacionada à noção de conservação de energia do sistema, reside na possibilidade de ligação entre as formas descritas anteriormente. Nesse momento, as formas relacionadas às implicações entre velocidade e energia cinética e entre trabalho da força de atrito e energia térmica tornam-se conteúdos passíveis de um novo reflexionamento a um patamar mais acima, no qual é criada uma nova forma que liga as duas relações anteriores em uma nova totalidade através do processo de reflexão. Essa nova totalidade permitirá ao sujeito compreender, finalmente, a conservação de energia na situação física apresentada.

Piaget (1977/1995) afirma que o processo de criação de novas formas a partir de conteúdos anteriores, e, por sua vez, as novas formas servindo de conteúdo para formas que ainda virão, não tem começo e muito menos fim absoluto. Portanto, os processos de reflexionamento e reflexão, pelos quais se realiza a abstração reflexionante, constituem o motor do desenvolvimento cognitivo do sujeito desde os níveis sensorio-motores até o pensamento formal.

Penso que a implicação pedagógica dessa relação entre forma e conteúdo, na compreensão da Epistemologia Genética, está na maneira como pode ser analisado um problema de Física em sala de aula. A possibilidade de compreensão da Física está diretamente ligada à ação do aluno sobre o problema, descobrindo e conectando os conteúdos relacionados à situação física proposta pelo professor e tomando consciência do significado de suas ações ao realizar experimentos. Entendo que, ao não dividir um problema físico em conteúdos que incluem apenas uma área da Física, o aluno passa a construir formas que lhe permitem construir conceitos-chave da Física até sua generalização, como a conservação de energia, para os diversos campos dessa ciência. Isso abre a possibilidade do aluno entender a Física em seu núcleo, isto é, como uma

ciência que procura construir leis gerais que se aplicam a toda a natureza e não só a um problema específico. Trata-se, então, de trazer ao ensino a complexidade e a as relações entre conteúdos que devem ser consideradas ao se resolver um problema físico, de maneira que os alunos possam construir noções (formas) a partir das suas ações sobre os conteúdos contidos no problema proposto.

Um ensino que procura propiciar ao aluno a construção de formas a partir dos conteúdos trabalhados em sala de aula repercute diretamente no tipo de aprendizagem que se deseja que os alunos realizem. Na compreensão da Epistemologia Genética, trazida por Piaget e Gréco (1954/1977), distinguem-se dois tipos de aprendizagem: *stricto sensu* e *lato sensu*.

A aprendizagem *stricto sensu* refere-se à aprendizagem dos conteúdos, sendo esses obtidos em função da experiência, observando os instrumentos de assimilação que o sujeito dispõe. Essa concepção de aprendizagem está enraizada nas escolas principalmente através da ideia de dividir os currículos em conteúdos específicos e com uma ordem pré-determinada. Acredita-se que somente dessa maneira os conteúdos poderão ser compreendidos, pois estão em uma sequência lógica a qual qualquer aluno dedicado poderá entender. Mesmo que a aprendizagem focada unicamente nos conteúdos funcione para alguns alunos, penso que ela limita em muito o poder formador da escola. Se a função da educação for reduzida simplesmente à transmissão de conteúdos, perde-se a oportunidade de auxiliar o aluno a construir as suas próprias ideias, pois, para o aluno criar novos conceitos, ele não depende somente da assimilação de conteúdos, mas das transformações realizadas, por reflexionamentos e reflexões, a partir da assimilação desses conteúdos.

Compreendo que o ensino deva ligar-se à ideia de aprendizagem *lato sensu*. Essa aprendizagem refere-se à construção de formas, que se destacam do conteúdo, adquirindo um grau de generalidade que permite ao sujeito aplicar estas formas a qualquer conteúdo. A aprendizagem *lato sensu* traz a possibilidade de uma aprendizagem que se confunde com o próprio desenvolvimento cognitivo, uma vez que as formas só podem ser construídas por abstrações reflexionantes a partir da ação do sujeito sobre os conteúdos e, na sequência, sobre as coordenações de suas ações. Nesse sentido, o sucesso dessa aprendizagem não se dará pelo acúmulo de diferentes conteúdos, mas nas relações abstraídas a partir das ligações que os alunos realizam

sobre esses conteúdos. Buscar essas relações, no interior da Física, exige retirar características comuns entre as diversas áreas (conteúdos) dessa ciência, de modo a criar formas que expliquem o comportamento da natureza. Portanto, entendo que um ensino que leve em conta uma intradisciplinaridade no interior da Física constitui-se em oportunidade de promover aprendizagens *lato sensu* por parte dos alunos.

Em resumo, a partir da intradisciplinaridade entre conteúdos de Física, efetivada neste trabalho através do ensino da conservação de energia como tema recorrente no interior da Física, proponho um ensino voltado para o desenvolvimento cognitivo do aluno. Esse ensino não promove somente a assimilação de conteúdos (aprendizagem *stricto sensu*), mas as transformações desses conteúdos em novas formas (acomodações), por abstrações reflexionantes – pseudo-empíricas e refletidas – que permitirão novas assimilações mais complexas (aprendizagem *lato sensu*).

6.3. O ensino de Física centrado no desafio

Penso que se for levado em conta a ação dos alunos sobre experimentos e a intradisciplinaridade entre os conteúdos de Física, o ensino dessa ciência deixará o papel de simples transmissão de conteúdos e assumirá a função de desafiador das ideias dos alunos. A tarefa de tornar o ensino desafiador é algo que remete a pergunta de como fazer isso, uma vez que os alunos possuem seus interesses pessoais que os inclinam a aproximar-se ou a afastar-se de determinados conteúdos escolares. Entendo que o primeiro passo é o professor compreender a estrutura cognitiva do aluno. Aebli (1978) afirma que para ensinar o professor deve saber as capacidades do aluno, de modo que não tomemos crianças – e aqui incluo também os adolescentes – como pequenos adultos e assim perdermos a oportunidade de explorar as suas dúvidas. Complementaria Aebli dizendo que perdemos a chance de descobrir como se constrói a novidade para o aluno. Com base nisso, como poderíamos constituir uma metodologia de ensino que leve em conta e desafie as noções do aluno sobre o conteúdo a ser aprendido?

A Epistemologia Genética utiliza como metodologia de pesquisa, na maior parte de seus estudos, o método clínico. Inhelder, Bovet e Sinclair (1974/1977) afirmam que esse método surgiu como uma ferramenta necessária para dar coerência ao caráter

interacionista de suas pesquisas, diferenciando-o dos métodos de estudo behavioristas, baseados em leis de frequência e contiguidades. Uma característica básica do método clínico piagetiano é a busca incessante das noções dos sujeitos através do uso da contra-argumentação, pela qual a pergunta desafia o sujeito a organizar e expor suas ideias.

Neste momento, começo a responder a pergunta proposta no primeiro parágrafo ao pensar em aproximar uma metodologia de ensino do método clínico piagetiano. Collares (2001), em sua tese, realizou essa adaptação do método clínico a conteúdos de séries iniciais. Ela afirma que não se trata de copiar ou apenas reproduzir os protocolos do método clínico *stricto sensu*, mas adaptá-lo à realidade e à coletividade da sala de aula.

O desafio que este método impõe, em princípio, ao fazer pedagógico é o de se aprender a observar e a ouvir a criança para construir, a partir do que se vê e do que se ouve, hipóteses de trabalho que deem consistência ao planejamento e atendam às necessidades e interesses dos alunos. (Collares, 2001, p.74)

Dessa forma, tornamos o professor um desafiador e não mais um pretense transmissor de conteúdos.

Compreendo que, assim como a pesquisa em Epistemologia Genética necessitou de um método próprio para poder desenvolver seus estudos, a escola que tem a intenção de ser construtivista precisa de um método de ensino que esteja de acordo com essa forma de conceber o conhecimento.

Analisando as implicações dessas ideias no ensino de Física, penso que uma metodologia de ensino centrada no desafio e inspirada no método clínico piagetiano permite uma pedagogia que explore as perguntas provenientes das ações dos alunos frente a experimentos físicos. Esses questionamentos são a base da pesquisa em Física, o que aproxima o aluno do próprio fazer científico.

No entanto, questionar a realidade exige que os alunos consigam pensar sobre os diversos fatores que estão presentes em um problema físico. Aebli (1978) afirma que os problemas que o ensino precisa considerar devem ser tratados em sua complexidade e não separados como passos particulares, pois, como a própria Epistemologia Genética propõe, o pensamento constitui-se ao conseguir formar totalidades, até chegar ao nível formal (conceitual) – e, depois, pela vida afora.

Entendo que os problemas da Física devem trazer essa complexidade e não serem apresentados como conteúdos específicos, desvinculados da totalidade a que pertencem. Os conteúdos servem de base para o pensamento, porém a escola deve ter como objetivo proporcionar transformações no sujeito e para isso os conteúdos devem ser desafiadores de modo que o aluno consiga superá-los e constituir novas formas de pensamento. É nesse momento que entra em campo o processo de abstração reflexionante e a aprendizagem *lato sensu*, duas faces do mesmo processo, atingindo o processo de desenvolvimento cognitivo do aluno.

Com o objetivo de investigar as repercussões dessa forma de pensar o fazer pedagógico, nesta segunda parte do trabalho, serão analisados dois processos que constituem a base da metodologia de ensino de Física proposta nesta pesquisa. Primeiramente, será investigado como uma metodologia de ensino centrada no desafio e inspirada no método clínico piagetiano, utilizando perguntas e contra-argumentações sugeridas pelas ações e interpretações dos alunos sobre experimentos, reflete-se na aprendizagem dos alunos sobre o conteúdo da conservação de energia. Em segundo lugar, pretende-se analisar as possibilidades de aprendizagem de uma proposta que busca uma intradisciplinaridade entre os conteúdos de Física, efetivada através do ensino da conservação de energia encarado como tema recorrente entre as diferentes áreas dessa ciência. Essa intradisciplinaridade possibilita o estudo de problemas complexos que promovam a construção de conceitos (formas) que expliquem diferentes fenômenos (conteúdos) da Física, fator essencial para um ensino que tem como meta atingir o desenvolvimento cognitivo do aluno.

7. Metodologia

7.1. Os sujeitos

Os sujeitos desta pesquisa foram alunos de uma turma de primeiro ano, do ano de 2012, de uma escola de Ensino Médio da rede estadual de ensino, localizada na zona leste da cidade de Porto Alegre. Essa turma foi escolhida por se encaixar no objetivo desta tese; sua adesão foi feita mediante a autorização da diretora da escola. As aulas descritas neste trabalho foram realizadas dentro do turno regular de atividades destes alunos. O processo foi facilitado devido à falta de professor de Física na escola para esta turma. Os alunos já se encontravam há dois meses sem aulas de Física.

Apesar de fazer parte das atividades regulares de ensino, a adesão ao projeto foi voluntária, efetivada a partir da assinatura do termo de consentimento autorizado e esclarecido (conforme Apêndice 2). Foi dada a opção aos alunos de passarem para outras turmas caso não quisessem participar da pesquisa. No entanto, todos os 16 alunos da turma aceitaram fazer parte da atividade.

A partir da ficha de avaliação (conforme Apêndice 3), adaptada de Luduvico et al. (2007), pôde-se verificar que os alunos tinham idade entre 14 e 18 anos. Dentre eles havia apenas um aluno que já tinha sido reprovado em Física no ano anterior. Apenas um relatou que já tinha trabalhado com experimentos em sala de aula na disciplina de Física.

Nove alunos consideravam a Física uma disciplina de uma dificuldade “mais ou menos”, enquanto outros sete achavam-na “difícil”.

Ao classificar suas dificuldades para aprender Física, o item assinalado em primeiro lugar foi que a “Física é muito abstrata”, seguido de “Não compreendo a matemática”, “Professores não sabem ensinar” e, em último lugar, “A Física não é algo interessante”.

Quando perguntados sobre o que pensavam sobre o ensino de Física, um aluno assinalou que achava “Ótimo”, dois achavam “Bom”, dez diziam que era “regular”, enquanto três disseram que era “ruim”.

Para analisar as ações de cada um dos alunos na pesquisa e visando as atividades em grupo que seriam desenvolvidas, dividi a turma em grupos de trabalho, representados pela letra “G”, porém identificando com a letra “A” cada membro dos grupos individualmente. Estes grupos foram constituídos por decisão dos próprios alunos, por critérios de afinidade. Foram formados os grupos G1, do qual participaram os alunos A1, A2, A3, A4 e A5, G2, com os alunos A6, A7, A8 e A9, G3, com os alunos A10, A11 e A12, e G4, com os alunos A13, A14, A15 e A16.

7.2. Procedimentos de coleta de dados

Foram realizadas quatro aulas de uma hora e quarenta minutos, uma por semana, no período de um mês. Estas aulas foram gravadas em vídeo de modo que se pudesse analisar as ações dos alunos frente às atividades propostas e captar o áudio de suas falas para posterior análise.

A aula 1 teve por objetivo a apresentação do curso e a realização de um questionário pré-teste (ver Apêndice 4). Este questionário continha cinco perguntas que estavam diretamente relacionadas com as propostas temáticas para as aulas seguintes. Ele foi realizado com a intenção de analisar os pensamentos dos alunos frente ao conteúdo que seria proposto durante as próximas aulas. As questões 1 e 2 eram referentes às atividades da aula 2, a questão 3 e 4 eram referentes às atividades da aula 3 e a questão 5 era referente a aula 4.

As aulas 2, 3 e 4 foram divididas em dois momentos:

(a) Apresentação do tema da aula e seu experimento: cada aula tinha um tema cujo experimento permitia que fossem explorados os conteúdos referentes a este tema. A aula 2 teve como tema as noções básicas de conservação de energia na mecânica, cujo experimento proposto foram os trilhos utilizados nas entrevistas da primeira parte da pesquisa (descrito na seção 3.3.1). Na aula 3, o tema foi usinas hidrelétricas, cujo experimento envolvia motores elétricos com ventoinhas nas pontas, de cujos contatos era possível medir a tensão elétrica que deles saía. A aula 4 teve como tema lâmpadas fluorescentes e incandescentes, cujo experimento consistiu na ligação destes tipos de lâmpada na rede elétrica através de um testador de lâmpadas.

(b) Proposta de discussão em pequenos grupos e fechamento com atividade escrita: após a atividade experimental, em que a turma toda era envolvida, cada um dos grupos realizava uma pequena discussão sobre os conteúdos trabalhados nas aulas. Em seguida, os grupos respondiam a um questionário que continha as mesmas questões do pré-teste referentes à aula em questão. Esse pós-teste foi realizado primeiramente para comparar suas respostas com as do pré-teste, detectando alguma possível evolução em relação às duas escritas. O segundo objetivo foi complementar os dados coletados via vídeo, com o fim de enriquecer a análise de dados.

A sequência das aulas foi baseada nos três conceitos fundamentais para a compreensão do conceito de energia: transformação entre tipos de energia, conservação de energia e potência, este último relacionado com a forma de uso da energia por diferentes aparelhos físicos. A escolha por essa ordem dos conteúdos baseou-se nas noções de conservação de energia obtidas na primeira parte do trabalho, que possibilitaram compreender os caminhos dos pensamentos dos sujeitos a respeito deste conceito.

Esta metodologia de ensino de Física inspira-se no método clínico piagetiano. Ela utiliza as noções que os sujeitos da primeira parte da pesquisa apresentaram sobre conservação de energia como ponto de partida para uma aula que se baseia nas perguntas e contra-argumentações que surgem a partir da experimentação. As perguntas funcionam como elementos desafiadores, possibilitando a construção por parte dos alunos das noções que se desejam alcançar a partir do ensino. As contra-argumentações procuram perseguir as ideias que surgem na sala de aula, de modo a proporcionar ao aluno a testagem da coerência de seus pensamentos e sua organização numa totalidade, tornando significativo o conteúdo trabalhado em sala de aula.

8. Descrição das Aulas

Neste capítulo trago uma descrição resumida das principais situações que aconteceram durante as aulas. Penso que desta forma o leitor poderá acompanhar e, possivelmente, compreender melhor os caminhos que me levaram às análises e conclusões que apresentarei a seguir.

8.1. Aula 1

A primeira aula do curso teve como objetivo apresentar os conceitos que seriam trabalhados nas aulas posteriores e explicar o funcionamento das mesmas.

A primeira atividade proposta foi a resolução do pré-teste, questionário a ser respondido pelos diferentes grupos. Procurei analisar a forma como os alunos trocavam ideias para tentar chegar às suas conclusões. Apresento a seguir as discussões dos grupos G1 e G4 e as respostas a algumas questões elaboradas por eles.

Discussões do grupo G1 sobre a questão 1:

A2 (G1) – Eu acho que quanto maior for a distância de início mais força ela (a bolinha) vai chegar no final. Este aqui (trilho II) é mais curto, assim ela (a bolinha) vai ter uma velocidade mais constante comparado com as outras. Neste aqui (trilho I) ela (a bolinha) vai ganhar muito mais força e vai chegar com mais velocidade final, mais do que neste (trilho II).

A4 (G1) – Tu não tá entendendo que, no final deste daqui (trilho I), ela (a bolinha) vai perder força? Então, vai ficar a mesma coisa que no caminho mais reto (trilho II).

A2 (G1) – Mas ela (a bolinha) vai estar mais embalada no final (refere-se ao trilho I) por isso vai chegar com mais velocidade.

A4 (G1) – Eu acho que não estás entendendo, A2. Eu andei de skate, sempre no final a gente perde velocidade. Ganha velocidade no início, mas perde no final.

A2 (G1) – Mas temos a pergunta sobre velocidade e sobre o tempo. Eu acho que a velocidade (da bolinha) é maior para o trilho I e o tempo é menor para o trilho II.

A4 (G1) – Estás certo sobre o tempo, mas ainda acho que vai compensar a velocidade.

Segue-se a discussão para a questão 2.

A3 (G1) – É o seguinte, eu acho que ela (a bolinha) vai descer e depois sobe no máximo até o I ou II.

A1 (G1) – Acho que fica entre o I e o II.

A2 (G1) – Eu não sei, nem se (a bolinha) chega até o I. Talvez a gravidade irá atrapalhar.

A3 (G1) – Mas concordamos que pode ser no II? (Todos concordam).

Apesar de se comunicarem com palavras que poderiam ser consideradas ofensivas, devido a uma aparente intimidade entre os alunos, todos os membros do grupo respeitam as ideias dos outros componentes. Isso permite que as respostas, certas ou não, sejam decididas pelo grupo e não somente por um aluno.

No grupo G4 acontece o oposto. Apenas duas alunas respondem pelo grupo, pois foram consideradas as que mais sabiam sobre o conteúdo em pauta.

A seguir são apresentadas as respostas dadas pelo grupo G4 quando perguntei aos alunos sobre a questão 1.

Comentando sobre a resposta da questão 1) a)

A13 (G4) – (A bolinha) na rampa II pega velocidade e, por isso leva menos tempo.

Comentando a resposta da 1) b)

A14 (G4) – (A bolinha) na rampa II chega com mais velocidade, pois a pista continua plana.

Prof. – Vocês sabem dizer qual o papel da subida nas rampas II e III?

A14 (G4) – Na rampa III (a bolinha) vai perdendo força conforme vai subindo.

As respostas são dadas de maneira simplista e sem muita reflexão, enquanto os demais alunos permanecem apenas concordando com o que é dito pelos alunos A13 (G4) e A14 (G4).

Após a realização do pré-teste, foi proposta uma discussão envolvendo toda a turma, na qual foram analisadas as questões que haviam sido respondidas. Os pontos levantados pelos alunos sobre o que havia de comum entre as questões foram movimento e energia. Segundo A3 (G1), todas as questões envolviam um movimento que acabava “ligando” alguma coisa e que isto estaria relacionado com energia. Alguns alunos do G2 também comentaram que essa energia poderia estar ligada tanto à Física como à Química.

Espontaneamente, os alunos compararam as questões do pré-teste com a que eles faziam tradicionalmente nas aulas de Física. Saliento a fala de dois alunos.

A8 (G2) – (Mostrando sua apostila de Física) Estas caixinhas com setinhas não estão no nosso dia-a-dia!

A11 (G3) – Na Física mesmo a gente fica calculando umas coisas nada a ver, como a caixinha que bate na outra.

Segue-se um debate no qual os alunos salientaram a importância de dar sentido aos conceitos que são trabalhados na Física e que podem estar presentes na vida deles.

Como fechamento da aula, comentei que cada uma das questões seria retomada nas aulas seguintes e experimentos seriam realizados para auxiliar a compreensão dos conceitos envolvidos.



Figura 8 – Foto das atividades da aula 1

8.2. Aula 2

Nesta aula foi realizado o experimento dos trilhos, o mesmo utilizado na aplicação da entrevista da primeira parte deste trabalho. O objetivo foi explorar as possibilidades deste instrumento dentro do contexto da sala de aula e como isso

repercutiria entre os alunos no sentido da compreensão do conceito de conservação de energia.

Ao apresentar as rampas, primeiramente explorei as hipóteses desses alunos sobre a situação proposta. Como provocação, perguntei quais os fatores que influenciariam na velocidade de chegada. Foram relacionados quatro pontos: altura do início e fim da rampa, concavidade (termo que os alunos utilizaram ao comentar sobre o formato da pista, fator que está relacionado com a trajetória que a bolinha segue em seu percurso sobre os trilhos), velocidade inicial e gravidade.

Apesar de serem levantados esses quatro fatores, o centro da discussão acabou sendo a relação entre concavidade (trajetória) e altura. Ao final, a maior parte dos alunos acabou se convencendo que a velocidade da bolinha será diferente, dependendo da concavidade (trajetória) da pista.

Após esse momento, todos os alunos reuniram-se em volta do experimento e comecei a lançar perguntas para que eles levantassem hipóteses sobre o que acontecia durante a experimentação.

A seguir, apresento excertos da discussão ocorrida durante a atividade.

Prof. – Vou lançar uma bolinha na rampa III e outra na rampa II, que vocês falaram que é menos côncava (termo relacionado a trajetória que a bolinha seguirá no trilho), as duas chegarão ao mesmo tempo ou alguma chegará primeiro?

Todos opinam que chegará mais rápido na rampa II.

Realizado o experimento, constata-se que a bolinha chega primeiro na rampa III. Os alunos do G1 e G2 são os mais participativos, inclusive com os alunos A3 (G1) e A6 (G2) colaborando intensamente com os testes realizados. Alguns permanecem indiferentes com o resultado, outros resolvem opinar:

A1 (G1) – Na rampa II (a bolinha) segue uma velocidade constante, enquanto na rampa III ganha velocidade devido às descidas.

A4 (G1) – Acho que é devido ao ângulo (assim como a concavidade, o ângulo é um fator ligado à trajetória) que ela (a bolinha) ganha mais velocidade.

A13 (G4) – Acho que na rampa II (a bolinha) perde velocidade porque é reta.

Faço então uma pergunta:

Prof. – Vocês acham que as duas bolinhas chegariam ao final com a mesma velocidade ou velocidades diferentes?

Todos os alunos dizem que serão velocidades diferentes. A14 (G4) ainda traz o seu ponto de vista:

A14 (G4) – Acho que na rampa III ela (a bolinha) ganha mais impulso na hora de descer, com isso ela ganharia mais velocidade.

Sigo a atividade perguntando:

Prof. – Pensando sobre o que vocês observaram e comparando com a discussão do início da aula, o que vocês acham que influencia na velocidade de chegada das bolinhas?

Estabelece-se um ar de dúvida, ficando dividida a opinião sobre a influência da concavidade (trajetória) e da altura.

Faço uma nova pergunta, agora relacionando com o papel da gravidade, referida na discussão inicial.

Prof. - Vocês comentaram sobre o papel da gravidade. Como vocês acham que este fator poderia influenciar na velocidade das bolinhas?

A3 (G1) – Acho que poderia atrapalhar na hora de pegar velocidade.

A6 (G2) – Mas também pode ajudar na hora da descida. Daí na hora da subida ela (gravidade) poderia atrapalhar.

Segue a experimentação.

Prof. – Agora vou lançar uma bolinha na rampa I e outra na rampa II. As duas chegarão ao mesmo tempo ou alguma chegará primeiro?

Divisão de opiniões, porém a maioria acha que a bolinha na rampa II chegará primeiro. Alguns justificam como, por exemplo, os dois alunos a seguir:

A6 (G2) – A rampa II (a bolinha) chegará mais rápida porque o trajeto é menor que o da rampa I.

A3 (G1) – Eu acho que vai ser (n)a rampa I, por causa da concavidade (trajetória) .

Realizado o experimento, constata-se que a bolinha chega primeiro na rampa I. A6 (G2) justifica:

A6 (G2) – Acho que a rampa I pega mais velocidade na descida porque cai mais alto.

Neste momento, o grupo G3 começa a participar mais ativamente da atividade e o grupo G4 começa a ficar disperso, apesar da insistência para que participassem.

Na sequência da atividade é proposta a inclusão de rampas extensoras nos trilhos, de modo a observar a altura máxima que as bolinhas poderiam chegar nelas.

Prof. – Comparando as rampas I e II, se colocarmos rampas extensoras na ponta delas, vocês acham que as duas bolinhas chegarão na mesma altura ou em alturas diferentes?

Todos concordam que na rampa I acabará chegando a uma altura maior, pois teria maior velocidade no final. A3 (G1) vai além:

A3 (G1) – Inclusive eu acho que de repente na rampa I a bolinha pode até sair do trilho.

São colocadas as rampas extensoras nas rampas I e II e é realizado o experimento. Os alunos auxiliam na marcação da altura máxima que a bolinha chega, em cada uma das rampas.

Realizado o experimento, os alunos são surpreendidos quando as bolinhas chegam à mesma altura nas duas rampas. Além disso, esta altura final é igual à altura de partida. A10 (G3) exclama:

A10 (G3) – A bolinha está com defeito!

Prof. – Vocês haviam comentado que se alguma delas tivesse maior velocidade chegaria mais alto. Por que isto não aconteceu?

Faz-se silêncio no ambiente. Isto remete a uma segunda testagem, com as rampas extensoras nas rampas I e III, com os fatores concavidade e altura.

Prof. – Comparando as rampas I e III, se colocarmos rampas extensoras na ponta delas, vocês acham que as duas bolinhas chegarão na mesma altura ou em alturas diferentes?

A1 (G1) – Estou em dúvida se não chegarão na mesma altura.

A3 (G1) – Eu ainda acho que a concavidade (trajetória) vai influenciar.

Realizado o experimento, constata-se que as alturas alcançadas pelas bolinhas são novamente iguais. A pedido dos alunos, o teste é realizado diversas vezes para que pudessem ter certeza de suas observações.

Após a experimentação, foi realizada uma discussão sobre a atividade. Os três fatores mais comentados foram altura, concavidade e velocidade no final.

A maioria dos alunos do G1 (A1, A2 e A3) e alguns do G2 (A6 e A8) e G3 (A10 e A11) chega à conclusão de que a concavidade (fator ligado à trajetória) não influencia

a altura máxima e sim a altura inicial, admitindo que a velocidade final da bolinha seria a mesma para todas as rampas.

O processo de mudança de pensamento de A3 (G1) é interessante, pois surge de uma discussão com A6 (G2), como mostra o diálogo a seguir:

A3 (G1) – Eu acho que a altura no final pode até ser a mesma, mas a angulação (fator relacionado à trajetória) deve influenciar nisto.

A6 (G2) – Ela (a angulação, mencionado por A3 (G1)) influencia, mas o que acaba determinando é o quanto de velocidade ela (a bolinha) ganha na descida e perde na subida. Porque, se o professor tivesse soltado a bolinha do início da rampa extensora, a bolinha iria a uma altura maior.

A3 (G1) – “Hummm” (tom de dúvida). Pode ser! Daí teria a ver mais com a altura mesmo.

Os outros alunos dos grupos G1 (A4 e A5), G2 (A7 e A9) e G3 (A12) mantiveram a perspectiva da concavidade (trajetória) como fator que mais influenciaria. Isto resultou em um não reconhecimento, ou uma dúvida por parte desses alunos, a respeito da igualdade da velocidade final da bolinha em todas as rampas, resultando na imprecisão de suas conclusões sobre a altura final alcançada pela bolinha e sua relação de igualdade com a altura inicial. Os membros do grupo G4 se ausentaram da discussão e se mantiveram dispersos.

Durante a discussão da atividade, introduzi os conceitos de energia potencial gravitacional, ligado à altura em relação a um referencial, e energia cinética, conceito relacionado à velocidade. Observei que os alunos que chegaram a compreender a dependência entre altura e velocidade tiveram mais facilidade em compreender os conceitos de energia cinética e energia potencial gravitacional e suas transformações, o que possibilitou a construção do conceito de conservação de energia por parte deles.

No entanto, os que mantinham a concavidade, fator ligado à trajetória descrita pela bolinha no trilho, como elemento principal para a determinação da velocidade final, pareceram não entender o papel da altura no conceito de energia potencial gravitacional. Isto é coerente com seu pensamento, porém interfere decisivamente em uma não compreensão do conceito de conservação de energia, uma vez que a simetria no tempo entre altura e velocidade é fator chave para esse entendimento.

Como fechamento, entreguei aos grupos o pós-teste, questionário no qual constavam as questões 1) e 2), as mesmas respondidas anteriormente no pré-teste. Após,

comuniquei que esta discussão sobre conservação de energia, envolvendo também outras áreas da Física, se aprofundaria nas aulas 3 e 4.



Figura 9 – Foto das atividades da aula 2

8.3. Aula 3

Nesta aula apenas os integrantes dos grupos G1 e G3 estavam presentes, pois houve uma greve de ônibus, impossibilitando que os outros alunos pudessem vir à escola.

Inicialmente, retomei os conceitos de energia cinética e energia potencial gravitacional desenvolvidos na aula 2. Discuti também a relação de transformação entre estes tipos de energia e sua simetria no tempo, base do princípio de conservação de energia. A pergunta principal da aula foi: será que podemos utilizar essas transformações de energia para gerar outros tipos de fenômenos físicos sem serem os da mecânica? Imediatamente A1 (G1) responde dizendo que o vento tem uma energia cinética que pode movimentar uma pá, gerando energia elétrica. A3 (G1) complementa dizendo que é a energia eólica. Citei também o exemplo do chuveiro elétrico, no qual

temos uma transformação de energia elétrica em energia térmica, gerando o aquecimento da água.

Logo após, apresentei o experimento da aula, que se constituiu de um simulador de usina hidrelétrica. Neste tipo de usina a energia cinética da água, ao rotacionar as pás do gerador, irá transformar-se em energia elétrica. Essa energia cinética que a água adquire depende inicialmente de uma energia potencial gravitacional que está relacionada com as alturas de grandes quedas d'água, razão pela qual são necessárias represas para a construção dessas usinas.

Neste experimento, utilizou-se um motor elétrico com uma pequena ventoinha acoplada na ponta, desempenhando a função de gerador, e um voltímetro, instrumento utilizado para medir tensões elétricas (diferenças de potencial elétrico). Para exemplificar o uso deste instrumento, mediu-se a tensão de uma tomada da sala, de modo a comprovar os 110 V (*volt*) comentados pelos alunos quando perguntados sobre a tensão elétrica da cidade de Porto Alegre. A pergunta que se seguiu foi como se origina essa tensão elétrica, que fornece energia para nossos aparelhos domésticos? Neste contexto surgem as usinas hidrelétricas.

O foco da experimentação foi compreender os elementos físicos que constituem esta geração de energia elétrica e como eles se relacionam. Inicialmente provei que o motor utilizado era um motor elétrico convencional, ligando-o a uma pilha comum. Aproveitei o momento para perguntar que tipo de transformação de energia ocorria ali. Os alunos facilmente identificaram que seria uma transformação de energia elétrica em energia mecânica. Senti que neste ponto os alunos começaram a generalizar as noções de transformação e conservação de energia, aplicando-as a outras situações, pois surgem outros exemplos espontâneos como a transformação de energia química da pilha em energia elétrica, que, após essa transformação, poderia transformar-se em outro tipo de energia.

No entanto, retomando o caso do motor, abriu-se a possibilidade de acontecer uma transformação contrária, de energia mecânica em elétrica, caso fossem empurradas as pás da ventoinha, transformando-a em gerador. Neste momento, A1 (G1) retoma a sua fala sobre energia dos ventos, enquanto os demais ainda desconfiam desta possibilidade. A11 (G3) inclusive é mais categórico dizendo que a movimentação das pás para o motor seria indiferente.

Proponho então que seja colocado o voltímetro nas pontas de saída do motor elétrico para analisar se, ao movimentarmos as pás, teríamos algum valor de tensão elétrica registrado. Ao serem perguntados sobre esta possibilidade, novamente a maioria disse que não haveria a possibilidade deste registro, com exceção de A1 (G1) que admitia um possível valor de tensão.

Os alunos prontamente se colocam à disposição para assoprar as pás e observam que o voltímetro acusava uma tensão. A3 (G1) exclama: “Estamos produzindo energia!”.

De fato, estavam, pois, ao assoprar, a energia cinética do vento movimentou as pás da ventoinha propiciando a geração de energia elétrica. Neste momento, A11 (G3) admite que, nessa situação, o motor transformou-se em um gerador de energia elétrica.

De modo a complementar estas conclusões, foi apresentado um esquema de um motor elétrico, como mostra a figura 10, apresentando os seus princípios físicos de funcionamento e como ele poderá transformar-se em um gerador.

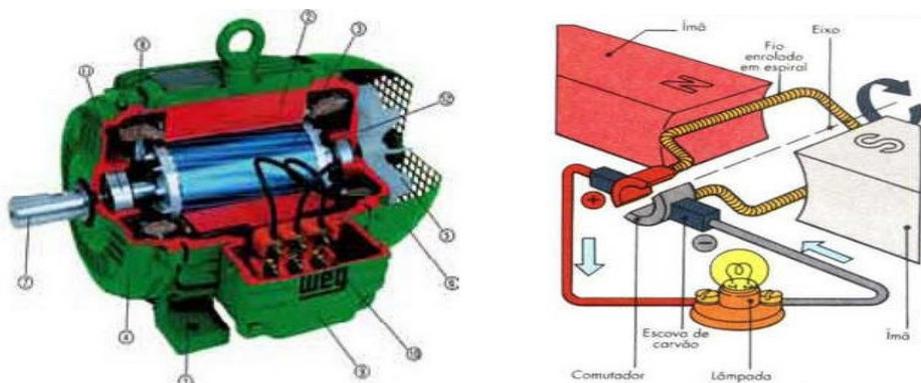


Figura 10 – Diagrama esquemático de um motor elétrico.

Em seguida, os alunos partiram para a experimentação com o simulador de usina hidrelétrica. Para fazer o papel da correnteza foi utilizado um pote que jogava água a uma determinada altura, fazendo mover as pás da ventoinha. Pedi que A1 (G1) me auxiliasse com o voltímetro, pois ele conhecia bem o seu funcionamento, uma vez que estava realizando um curso técnico na área de computação. A água é jogada sobre as pás e é medida uma tensão de aproximadamente 0,03 V.

Pergunto aos alunos quais seriam os fatores que influenciariam na geração desta energia. A1 (G1) responde que precisaríamos de muita água e de pás para fazer uma usina hidrelétrica. Os demais alunos apoiam esse ponto de vista em suas falas. O fator

altura não é mencionado pelos alunos. Realizo, então, o experimento novamente, colocando o pote que joga água em duas alturas diferentes. A fala de A11 (G3) registra as ideias que surgem neste momento:

A11 (G3) – (Altura mais baixa) 0,03 (V). (Altura maior em relação a anterior) 0,03, 0,04, 0,05... Aaaaaah!

Naquele momento, a certeza de A11 (G3) e dos demais alunos de que apenas a água seria fator preponderante para gerar energia é desestabilizada pela influência determinante que a altura realiza sobre a produção final de energia elétrica. A4 (G1), inclusive, comenta que poderíamos utilizar como queda d'água o experimento das rampas, transformando a energia potencial gravitacional inicial em “velocidade” (sic), fazendo com que as pás se movimentassem e gerassem energia elétrica. A5 (G1) concorda imediatamente com essa afirmação de A4 (G1).

A11 (G3) faz uma relação com algo que viu no noticiário:

A11 (G3) – Bah! Agora entendi o porquê dos problemas ambientais gerados pelas usinas hidrelétricas.

Segundo ele, isso acontece porque é necessário fazer grandes represas para termos a altura necessária para a água adquirir energia cinética e mover as pás. Sendo assim, esta poderia ser a razão dos alagamentos gerados nas regiões em que são instaladas as usinas.

Essas conclusões geram uma discussão no final da aula sobre os problemas energéticos do Brasil. Foram arrolados a grande demanda energética que o crescimento industrial brasileiro irá fazer e os apagões que afetam as grandes cidades. Ao final, os alunos tentaram pensar possíveis soluções, trazendo principalmente a usina eólica, como as que existem em Osório/RS, como possibilidade.

Como fechamento, entreguei aos grupos o pós-teste, questionário contendo as questões 3) e 4), as mesmas respondidas anteriormente no pré-teste.



Figura 11 – Foto das atividades da aula 3

8.4. Aula 4

No início da aula, retomei os conceitos de transformação de energia e conservação de energia, trabalhados nas aulas anteriores. Seguiu-se então para o tema desta aula, que trataria da maneira como a energia é utilizada por aparelhos físicos, com o objetivo de desenvolver o conceito de potência.

Fisicamente, potência é uma relação entre a variação da energia (ΔE) utilizada por um corpo em um determinado intervalo de tempo (Δt). Sua unidade é W (*watts*). Matematicamente, é dado por:

$$P = \Delta E / \Delta t \quad (\text{equação 5})$$

Esse conceito explica o porquê de alguns aparelhos precisarem de mais energia do que outros. Como forma de desenvolver esse conceito foi realizada uma experimentação com uma lâmpada fluorescente e uma incandescente. Considerando uma lâmpada incandescente e uma fluorescente com o mesmo poder de luminosidade, as primeiras têm uma potência maior que as segundas. Isto pode ser evidenciado através das especificações técnicas que se encontram nas embalagens das lâmpadas fluorescentes que são vendidas no mercado, como mostra a figura 12.



Figura 12 – Embalagem com as especificações técnicas de uma lâmpada fluorescente

Num primeiro momento, perguntei aos alunos se, ao ser ligada a um testador, alguma das lâmpadas, uma fluorescente de 15 W e outra incandescente de 25 W, qual iria brilhar mais ou se as duas brilhariam com a mesma intensidade. Segundo as especificações técnicas da lâmpada fluorescente, em termos de luminosidade ela equivaleria a uma lâmpada incandescente de 60 W.

Tangenciando a pergunta, A4 (G1) traz a situação da economia da fluorescente em relação à incandescente. No entanto, não consegue relacionar com os princípios físicos envolvidos.

Os alunos respondem unanimemente que a lâmpada mais potente iria apresentar um brilho maior. A experiência é realizada e, ao contrário do esperado, a fluorescente brilha mais. A4 (G1) retoma seu pensamento sobre o gasto em energia elétrica de cada lâmpada:

A4 (G1) – Pois é, acho que gastamos menos porque a fluorescente consome menos energia que a incandescente, só que a fluorescente ilumina mais.

Esta conclusão é compartilhada pelos colegas.

Neste instante, são levadas em consideração as especificações técnicas da lâmpada fluorescente e sua equivalência em termos de luminosidade com uma lâmpada incandescente de potência mais alta.

Sobre isso, seguiu-se a pergunta: e para onde vai a potência da lâmpada incandescente que não é utilizada para a luminosidade? Rapidamente, A6 (G2) relaciona este fato com a questão 5 do pré-teste.

A6 (G2) – Professor, é como naquela questão das lâmpadas, acho que a incandescente gasta mais porque ela aquece.

Não convencido, A4 (G1) tenta sentir a temperatura das duas lâmpadas, que ainda estavam no testador, e acaba se convencendo que A6 (G2) tinha razão.

Quando perguntados sobre a transformação de energia que estaria acontecendo nas lâmpadas, todos os alunos, menos os do G4, que permaneciam dispersos, comentaram sobre a transformação da energia elétrica em energia luminosa e em alguma relacionada à temperatura (energia térmica).

Abre-se, então, uma discussão sobre o consumo de energia em aparelhos do cotidiano, como o chuveiro elétrico, que tem uma potência mais elevada que uma lâmpada (em torno de 5400 W), e como isso influenciaria no gasto financeiro em energia elétrica. A10 (G3) faz uma observação interessante, comentando a potência de motores de carro:

A10 (G3) – É como os motores de carros potentes que consomem mais gasolina. Um Opala consome mais gasolina que um Corsa porque é mais potente.

Isto chama a atenção principalmente dos grupos G1 e G3 que começaram a comparar diferentes tipos de carros e dizer qual seria mais econômico em termos de consumo de gasolina. Chega-se à conclusão que isto depende da potência do motor do carro.

Como fechamento da aula, são retomados os conceitos de transformação de energia, conservação de energia e potência, relacionando-os com os exemplos discutidos em cada uma das aulas. Por fim, entreguei aos grupos o pós-teste, questionário no qual constava a questão 5, a mesma respondida anteriormente no pré-teste.

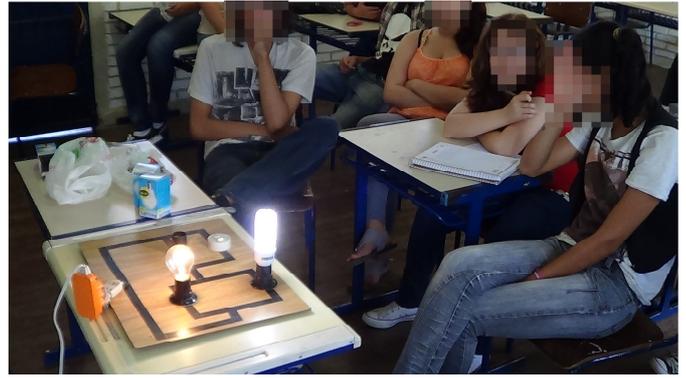


Figura 13 – Foto das Atividades da aula 4

9. Análise e discussão dos dados

Nesta parte do trabalho, apresento a análise e a discussão dos dados obtidos nas aulas realizadas. Construí este capítulo focando em dois pontos fundamentais da pesquisa:

- (1) a análise das possibilidades e dificuldades de uma metodologia de ensino de Física, no Ensino Médio, centrada no desafio e inspirada no método clínico piagetiano e
- (2) a análise das possibilidades e dificuldades de uma proposta que busca uma intradisciplinaridade entre os conteúdos de Física, no Ensino Médio, utilizando o conteúdo da conservação de energia como tema recorrente.

As seções a seguir abordam estas análises e discutem os resultados obtidos na pesquisa.

9.1. A metodologia de ensino de Física centrada no desafio e inspirada no método clínico piagetiano

O verbo ensinar é definido facilmente por grande parte dos professores como ato de transmitir conhecimento. As pesquisas de Becker (1993/2013; 2012) deixam clara essa postura dos professores. A simples transmissão de conhecimento parece ser algo muito prático, pois teríamos pessoas iguais que teriam todo o conhecimento a seu dispor para poder utilizá-lo em favor da ciência e da sociedade. No entanto, não é isto que se observa nas salas de aula.

Apesar de o ensino estar centrado na transmissão, portanto no professor, observa-se que os alunos enfrentam possibilidades e dificuldades diferenciadas nas mais diversas disciplinas escolares. Isso remete a um possível fator interno que faz o aluno não se adaptar a determinada disciplina ou mostrar gosto por outra. Esse atributo é por vezes chamado de aptidão. Segundo esse viés, é a aptidão que propicia que um sujeito “A” se interesse por disciplinas ligadas à área de ciências exatas e um sujeito “B” se interesse por ciências humanas. Essa aptidão é pré-determinada, algo como um dom que este sujeito traz ao nascer e precisaria apenas amadurecê-lo para que se manifestasse.

Assim, o ensino fundamentado unicamente na transmissão justifica que é um fator interno de base maturacional o motivo das diferenças de aprendizagem dos seus alunos. Em suma, o papel da escola passa a ser transmitir conhecimentos (conteúdos)

para que os talentos aflorem. Por isso os cronogramas devem ser seguidos à risca, de modo que se possa transmitir o máximo de conteúdos aos alunos. Dessa forma, estes irão acumular conhecimentos que um dia serão importantes para sua vida. Depois disso, só dependerá do aluno utilizar esse conhecimento para seu futuro. Os conteúdos não precisam necessariamente ter um sentido agora, mas no futuro serão importantes.

Mas onde está o futuro? Ele é algo concreto? Para todas as pessoas o futuro será o mesmo? Piaget (1974b/1978) faz uma reflexão muito importante sobre o papel do futuro que vai ao encontro destas perguntas. Ele diferencia duas formas de compreender o futuro: a teleologia e a teleonomia.

Na teleologia temos o futuro como algo real. Trata-se de um finalismo segundo o qual somente o resultado é importante. Dessa forma, o futuro determina os passos do presente, pois ele age sobre este como um atrator, isto é, como algo que condiciona as ações humanas em vista do atrator real situado em futuro mais ou menos distante.

Por outro lado, temos a teleonomia que considera o futuro como um resultado das ações do presente. Sendo assim, o processo torna-se preponderante para que tenhamos um determinado futuro. É através de suas ações que o sujeito começa a planejar o futuro, mas não como um finalismo, mas como “uma evolução sempre orientada” (Piaget, 1974b/1978, p.183).

Nesse ponto de vista, o conhecimento não é algo que pertença ao sujeito de modo inato, tampouco que o conhecimento seja totalmente externo a este, e sim que existe uma interação entre sujeito e meio (objeto) de onde nascerá o conhecimento como capacidade, mas também como conteúdo. Esta proposta modifica totalmente a visão de futuro na qual tudo é pré-estabelecido (teleologia). Pensando dessa forma o conhecimento, passamos a compreender o ser humano como um ser que pode construir suas capacidades e seguir caminhos que serão trilhados por suas próprias ações, as coordenações de suas ações, as reflexões sobre todo seu fazer e as reflexões sobre as reflexões até atingir os mecanismos íntimos das ações ou das operações.

Quando falamos em ação, não estamos nos referindo apenas à ação material, sobre objetos concretos, mas a todas as ações humanas imagináveis. Ações sensório-motoras, ações concretas, ações formais; ações materiais, ações virtuais; ações sobre ações anteriores, coordenações de ações, ações simbólicas, ações conceituais, operações

concretas, operações formais; ações experimentais mas, também, ações de axiomatização. Incluem-se em ação todas as atividades, reais ou possíveis, de um ser humano. É importante ressaltar o que entendemos por ação devido ao fato de alguns professores afirmarem que estão fazendo uma pedagogia ativa ao impor exercícios, deveres, tarefas, que muitas vezes não fazem sentido para seus alunos. Diz Piaget (1957b, p.44) que “é ação toda conduta (observável exteriormente, inclusive por interrogatório clínico) visando a um objetivo do ponto de vista do sujeito considerado”. A partir da ótica da Epistemologia Genética, pensamos que o ensino deve valorizar as ações geradas pelo interesse dos alunos e não centralizar os seus processos apenas em ações de motivação externa.

Sendo assim, se compreendermos que o conhecimento não está polarizado no professor, mas que resulta das ações dos alunos, será que a simples transmissão de conteúdos é suficiente para a aprendizagem? É respondendo a essa pergunta que defino, aqui, o verbo ensinar como desafiar – sentido profundamente diferente do configurado no início desta seção.

O ensino desafiador não visa a que o aluno chegue a um determinado caminho pré-estabelecido pelo professor, mas estabelece objetivos de aprendizagem que precisam levar em conta as ações e o pensamento do aluno. Tal ensino deve procurar atender as ações do aluno em sala de aula, de modo a criar um ambiente de discussão enriquecido por ações, experimentações, perguntas e contra-argumentações que possam constituir novidade para o aluno e que o leve efetivamente a construir conhecimento para si; isto é, conhecimento, competência, capacidade ou estrutura – não apenas conteúdo.

Penso que estas características aproximam esta metodologia de ensino centrada no desafio das características básicas do método clínico piagetiano, como já referido anteriormente. Collares (2001), ao salientar a validade de sua adaptação do método clínico à sala de aula, confirma estas características:

[...] o professor necessita significar (atribuir sentido) as falas que se contextualizam num espaço relacional, e a contraposição (ou o transformar a resposta numa nova indagação) deve ser em um tom reflexivo, compartilhado, curioso e respeitoso, tendo presente o coletivo sem perder a perspectiva individual. (Collares, 2001, p.75)

É nestas perguntas e contra-argumentações que este ensino pode tornar-se significativo.

Na disciplina de Física, esta metodologia de ensino centrada no desafio pode redefinir a forma como esta ciência é vista pelos alunos, uma vez que entender os fenômenos naturais passa pelo questionamento da realidade. É desta forma que surgem as leis físicas, elaborações de graus elevados do formalismo humano, produtos de inumeráveis abstrações reflexionantes, cada vez mais transformadas em abstrações refletidas que significam e ressignificam as abstrações empíricas.

As análises que se seguem trazem as possibilidades desta metodologia de ensino de Física centrada no desafio e inspirada no método clínico piagetiano.

Na aula 1, na qual foi realizado o pré-teste, todos os grupos de trabalho responderam à questão 2), que tratava da altura final que a bolinha poderia atingir ao ser largada de uma determinada altura inicial. Foram dadas cinco opções de altura final, mostradas na figura que acompanha a questão, das quais o grupo precisava escolher uma, justificando seu ponto de vista.

A questão 2) traz um ponto crucial para a compreensão do conceito de conservação de energia, uma vez que o reconhecimento da simetria entre as alturas permite ao sujeito inferir a existência de uma grandeza que é invariante no tempo, ou seja, que se conserva apesar das possíveis transformações que ela sofrerá dentro de um sistema físico. As respostas dos grupos a esta questão no pré-teste são apresentadas a seguir e comparadas com os níveis da noção de conservação de energia obtidas na primeira parte da pesquisa.

Resposta do G1:

G1 – No segundo (ponto), pelo fato dela ganhar velocidade no início, perder na subida, chegando ao fim com pouca velocidade.

G1 traz uma resposta que poderia ser encaixada no nível II da noção de conservação de energia, pois seus membros reconhecem as transformações entre as energias cinética e potencial. Porém, apesar de acertar onde seria a altura final, o trecho “chegando ao fim com pouca velocidade”, denota que eles ainda estão em dúvidas sobre uma possível invariante (conservação) frente a estas transformações de energia. As

discussões do G1, registradas na aula 1 sobre a velocidade final da bolinha, demonstram esta dúvida, especificamente no trecho abaixo onde debatem sobre a questão 2):

A3 (G1) – É o seguinte, eu acho que ela (a bolinha) vai descer e depois sobe no máximo até o I ou II.

A1 (G1) – Acho que fica entre o I e o II.

A2 (G1) – Eu não sei, nem se (a bolinha) chega até o I. Talvez a gravidade irá atrapalhar.

A3 (G1) – Mas concordamos que pode ser no II? (Todos concordam.)

Assim, a conclusão de chegar ao ponto II é um consenso do grupo. No entanto, o ponto I poderia ser uma possibilidade, reafirmando o não reconhecimento da invariância da energia no tempo. Um dos fatores que dificultam esta compreensão é a não exclusão da trajetória como determinante da altura final.

Resposta do G2:

G2 – Nenhuma, porque a bolinha vai perder velocidade antes de chegar no fim da extensão da rampa.

G2 traz inicialmente uma resposta que poderia encaixar-se no nível I da noção de conservação de energia, uma vez que não é reconhecido inicialmente o papel da altura inicial na determinação da altura final, tampouco isto é relacionado com a velocidade. Isto é, não há uma identificação das variáveis referentes à conservação de energia. As discussões do grupo não modificam esta posição.

Resposta do G3:

G3 – Nós achamos que a bolinha chegará até o (ponto) I. Por estar perdendo força com a subida.

G3 traz outra resposta que poderia encaixar-se no nível I, incluindo, além do não reconhecimento das variáveis referentes à energia, a questão de uma força que atrapalharia a subida. Esta força, segundo eles, seria relacionada à gravidade. Nas falas de G1 este fator também aparece, porém em tom de suspeita. No entanto, G3 afirma que a gravidade é determinante para que a bolinha alcance nem ao menos a altura inicial. A influência da gravidade neste problema é coerente fisicamente, porém há uma questão de simetria que não é identificada pelo grupo: assim como a força gravitacional retira energia através de trabalho na subida, ao mesmo tempo ela cede energia durante as descidas, de maneira que a energia total do sistema se mantenha a mesma. A força

gravitacional é um agente transformador nesse processo, porém o determinante para mensurar a altura final do corpo é a altura inicial de onde o objeto é largado.

Resposta do G4:

G4 – Ela atinge no máximo a altura II.

Essa resposta simplista do G4 é difícil de classificar. Quando questionados sobre a velocidade final da bolinha nas rampas II e III, fator que influencia diretamente a sua altura final, os alunos do G4 respondem sem muita reflexão, como se quisessem livrar-se o quanto antes daquele trabalho.

A14 (G4) – (A bolinha) na rampa II chega com mais velocidade, pois a pista continua plana.

Prof. – Vocês sabem dizer qual o papel da subida nas rampas II e III?

A14 (G4) – Na rampa III (a bolinha) vai perdendo força conforme vai subindo.

Com base nessas falas, G4 estaria classificado dentro do nível I da noção de conservação de energia. No entanto, nesse grupo as respostas são dadas exclusivamente pelos alunos A13 (G4) e A14 (G4), o que permite inferir que essa classificação não reflete a média dos alunos do grupo, mas dos pensamentos destes dois alunos. A15 (G4) e A16 (G4) permanecem dispersos, não colaborando com a escrita das respostas.

Realiza-se, na aula 2, o experimento das rampas. Na discussão inicial, quando perguntados sobre os fatores que influenciariam a velocidade de chegada, fator determinante para a altura final, os alunos retomam as variáveis que foram mais destacadas no pré-teste: altura do início e fim da rampa, concavidade (termo utilizado pelos alunos ao comentarem sobre o formato da pista, fator que está relacionado com a trajetória que a bolinha segue em seu percurso sobre os trilhos), velocidade inicial e gravidade.

O surgimento dessas variáveis coincidiu com os fatores mais salientados nas entrevistas da primeira parte da pesquisa. Dessa forma, pude trazer as perguntas que nortearam estas entrevistas como base para a exploração do pensamento dos alunos. Estas perguntas, que por vezes surgiam como contra-argumentações, tinham como objetivo proporcionar desafios aos alunos de modo que estes conseguissem compreender, por construções próprias, o conceito de conservação de energia, levando em conta as noções explicitadas no pré-teste e nas suas falas durante a aula 1.

Desde o início da atividade, os alunos do grupo G1 e G2 mostraram-se mais participativos. Já os grupos G3 e G4, com exceção de A13 (G4) e A14 (G4), ficaram mais distantes.

Realiza-se a primeira atividade:

Prof. – Vou lançar uma bolinha na rampa III e outra na rampa II, que vocês falaram que é menos côncava (termo relacionado a trajetória que a bolinha seguirá no trilho), as duas chegarão ao mesmo tempo ou alguma chegará primeiro?

Todos opinam que chegará mais rápido na rampa II. No entanto, é realizado o experimento e constata-se que na rampa III a bolinha chega em primeiro lugar. Alguns alunos fazem sua primeira tentativa de explicação para o acontecido:

A1 (G1) – Na rampa II (a bolinha) segue uma velocidade constante, enquanto na rampa III ganha velocidade devido às descidas.

A4 (G1) – Acho que é devido ao ângulo (assim como a concavidade, o ângulo é um fator ligado à trajetória) que ela (a bolinha) ganha mais velocidade.

A13 (G4) – Acho que na rampa II (a bolinha) perde velocidade porque é reta.

As respostas à primeira atividade realizada, apesar de trazer um resultado experimental inesperado para os alunos, reafirmam as posições apresentadas pelos grupos no pré-teste. Isso é demonstrado quando se pergunta sobre a relação entre as velocidades finais das bolinhas:

Prof. – Vocês acham que as duas bolinhas chegariam ao final com a mesma velocidade ou velocidades diferentes?

Todos os alunos dizem que serão diferentes. A14 (G4) ainda justifica:

A14 (G4) – Acho que na rampa III ela (a bolinha) ganha mais impulso na hora de descer, com isso ela ganharia mais velocidade.

Como visto anteriormente, esta opinião de A14 (G4) é semelhante à que já havia dado no pré-teste.

As opiniões continuam divididas entre a trajetória, fator considerado pelos alunos quando se referiam à concavidade das pistas, e a altura, como possíveis fatores preponderantes para a velocidade final da bolinha. No entanto, a maioria atribui mais importância ao primeiro fator.

A primeira mudança de pensamento ocorre com A6 (G2), durante este diálogo:

Prof. – Vocês comentaram sobre o papel da gravidade. Como vocês acham que este fator poderia influenciar na velocidade das bolinhas?

A3 (G1) – Acho que poderia atrapalhar na hora de pegar velocidade.

A6 (G2) – Mas também pode ajudar na hora da descida. Daí, na hora da subida ela (gravidade) poderia atrapalhar.

A opinião de A3 (G1) ainda mostra a suspeita do grupo G1 sobre o papel da gravidade. Porém, analisando a opinião emitida por A6 (G2), que também é defendida por A8 (G2), esta pergunta provoca uma mudança no seu pensamento inicial, mostrado no pré-teste deste grupo. Trazer o papel da gravidade permitiu que ele pensasse que existe uma simetria em jogo que realiza uma compensação em termos de velocidade e altura. Este é um caminho para a compreensão da conservação de energia.

Durante a segunda atividade, esta mudança de pensamento de A6 (G2) mostra-se mais evidente quando ele tenta explicar o resultado experimental que não coincide com a hipótese inicial dos alunos.

Prof. – Agora vou lançar uma bolinha na rampa I e outra na rampa II. As duas chegarão ao mesmo tempo ou alguma chegará primeiro?

Há divergência de opiniões, porém a maioria acha que a bolinha na rampa II chegará primeiro.

A6 (G2) – A rampa II chegará mais rápido porque o trajeto é menor que o da rampa I.

A3 (G1) – Eu acho que vai ser a rampa I, por causa da concavidade (trajetória).

É realizado o experimento e constata-se que a rampa I chega primeiro. Em seguida, A6 (G2) explica:

A6 (G2) – Acho que a rampa I pega mais velocidade na descida porque cai mais alto.

Neste momento, A6 (G2) une a variável da gravidade analisada anteriormente com o da altura, reconhecendo um fator determinante para a velocidade final da bolinha. Ele aparentemente relaciona também o tamanho da trajetória com esta velocidade adquirida, o que explicaria o menor tempo para a rampa I. A rampa I, apesar de possuir uma trajetória maior do que a rampa II, apresenta maiores velocidades durante o trajeto da bolinha. Assim o tempo, razão entre distância e velocidade, é menor para a rampa I do que para a II. A1 (G1) e A2 (G1) juntam-se à opinião de A6 (G2). Os demais membros de G1, assim como explicitado por A3 (G1), ainda pensam que o fator determinante tanto para o tempo quanto para a velocidade final será a concavidade, fator

ligado à trajetória que a bolinha realizará na pista. Neste ponto, G3 começa a interessar-se mais pela atividade, enquanto G4 afasta-se das discussões sobre o experimento e ficam dispersos, inclusive A13 (G4) e A14 (G4) que no início participavam.

Na terceira parte da atividade, o fator altura é testado de maneira direta quando são colocadas as rampas extensoras nas rampas I e II.

Prof. – Comparando as rampas I e II, se colocarmos rampas extensoras na ponta delas, vocês acham que as duas bolinhas chegarão na mesma altura ou em alturas diferentes?

Influenciados ainda pela relação com o tempo de chegada, caso do grupo G3, ou pela concavidade (trajetória), como afirma A3 (G1), ou ainda na dúvida sobre uma possível conservação devido à igualdade de alturas, como no caso de A6 (G2), a maior parte dos alunos afirma que a bolinha chegará antes na rampa I, pois teria maior velocidade no final. Justificando-se, ao falar da concavidade, A3 (G1) vai além:

A3 (G1) – Inclusive eu acho que de repente na rampa I a bolinha pode até sair do trilho.

Ou seja, ao ficar preso pelo fator da concavidade (trajetória), ele relaciona apenas com ela a velocidade que a bolinha poderá atingir. Isto impede que ele construa uma noção de um invariante físico para a altura, ligação fundamental para a construção do conceito de conservação de energia.

Ao realizar o experimento, os alunos ficam intrigados quando as bolinhas chegam à mesma altura nas rampas I e II, sendo que essa altura é igual à inicial. Neste instante A10 (G3), desestabilizado pela falha de suas ideias iniciais, fala:

A10 (G3) – A bolinha está com defeito!

Surge neste momento a possibilidade da contra-argumentação de minha parte, como forma dos alunos exporem suas construções acerca do que observaram no experimento.

Prof. – Vocês haviam comentado que se alguma delas tivesse maior velocidade chegaria mais alto. Por que isto não aconteceu?

Faz-se silêncio na turma. Isto leva a um segundo teste com as rampas extensoras, nas rampas I e III. Uma nova pergunta é feita:

Prof. – Comparando as rampas I e III, se colocarmos rampas extensoras na ponta delas, vocês acham que as duas bolinhas chegarão na mesma altura ou em alturas diferentes?

Dois alunos respondem:

A1 (G1) – Estou em dúvida se não chegarão na mesma altura.

A3 (G1) – Eu ainda acho que a concavidade (trajetória) vai influenciar.

É realizado o experimento que demonstra serem as alturas iguais. O teste é repetido algumas vezes, a pedido dos alunos, de modo que pudessem confirmar suas conclusões.

A afirmação para que A6 (G2) demonstrasse a construção de uma noção de nível III para a noção de conservação de energia surge no diálogo entre ele e A3 (G1) ao comentar sobre os resultados experimentais:

A3 (G1) – Eu acho que a altura no final pode até ser a mesma, mas a angulação (fator relacionado à trajetória) deve influenciar nisto.

A6 (G2) – Ela (a angulação, mencionado por A3 (G1)) influencia, mas o que acaba determinando é o quanto de velocidade ela (a bolinha) ganha na descida e perde na subida. Porque, se o professor tivesse soltado a bolinha do início da rampa extensora, a bolinha iria a uma altura maior.

A3 (G1) – “Hummm” (tom de dúvida). Pode ser! Daí teria a ver mais com a altura mesmo.

Além disso, esse diálogo também mostra o processo de passagem ao nível III de A3 (G1), que ao final dos experimentos com as rampas extensoras, nas rampas I e III, já se encontrava em dúvida. O debate com A6 (G2) acaba reformulando seu pensamento e excluindo o fator da concavidade (trajetória), que manteve até o último momento da experimentação.

Analisando individualmente as falas dos alunos na atividade, notei que A1, A2 e A3 do G1, A6 e A8 do G2 e A10 e A11 do G3 conseguiram chegar a uma noção de nível III. Os alunos A4 e A5, do G1, mantiveram sua noção de nível II, enquanto A7 e A9 do G2 e A12 do G3 chegaram a uma noção desse nível. Os alunos A13 e A14 do G4 mantiveram suas noções de nível I, manifestadas no pré-teste, sendo que se ausentaram da discussão logo no início das atividades, assim como suas colegas A15 e A16, as quais não é possível analisar, pois sequer opinaram durante o procedimento.

No pós-teste, no qual os grupos voltaram a responder à questão 2), esta evolução para a noção de nível III é demonstrada nas conclusões dos grupos G1 e G2, influenciados principalmente pelos alunos que chegaram a este nível.

G1 – Chegará no ponto 2, pois a altura final é igual a altura inicial.

G2 – (As bolinhas) em todas as rampas chegam no mesmo nível porque chegam no nível em que foram soltas.

G3 apresenta uma conclusão que se coloca entre o nível II e III, apresentando uma resposta que se refere à altura como fator preponderante, mas citando-a como inclinação, o que ainda poderia remeter ao fator da trajetória.

G3 – Concordamos com a segunda alternativa, pois apesar da inclinação na largada inicial, a bolinha vai perdendo velocidade quando está subindo a rampa extensora.

G4 apresenta uma resposta que é coerente com sua ausência nas discussões do experimento, não trazendo novidades em relação ao pré-teste.

G4 – Chega no ponto I, porque no teste que fizemos ela chegou quase na altura do ponto I.

Os resultados destas análises para as noções apresentadas pelos alunos são coerentes com as noções apresentadas pelos sujeitos na primeira parte da pesquisa, pois os processos que levaram à evolução dos níveis foram semelhantes.

A proposta de ensino centrado no desafio, com inspirações retiradas do método clínico, tornou-se eficiente para a maior parte dos alunos, no sentido de não somente fornecer conteúdos para estes, mas desenvolver ações e experimentações em sala de aula. Isso permite a construção de noções que repercutem no desenvolvimento do aluno, base de uma aprendizagem *lato sensu*.

As perguntas e contra-argumentações serviram não para levar o aluno a um caminho pré-determinado, como tradicionalmente a escola faz, mas criaram possibilidades cognitivas. Estas possibilidades geraram discussões e novos desafios, permitindo que os alunos pudessem, mediante abstrações reflexionantes, construir suas próprias conclusões.

Minha análise mostra, neste contexto da Física, que a experimentação tornou-se um fator chave para o ensino centrado no desafio. Como pôde ser observada na situação analisada, a exploração do experimento foi o propulsor dos debates entre os alunos.

Outro fato que colabora com o papel da experimentação aconteceu na aula 3. Ao perguntar aos alunos quais seriam os fatores que influenciariam na geração de energia elétrica em uma usina hidrelétrica, eles responderam que precisaríamos apenas de muita água para mover as pás do gerador. Nisto entendo que os alunos inicialmente ignoram o papel fundamental das represas construídas para esse tipo de usina, que criam um desnível de modo que a água tenha uma energia potencial gravitacional em relação à altura da turbina; quanto mais alta estiver represada a água, tanto mais energia potencial gravitacional poderá transformar-se em energia cinética e, como tal, mover as turbinas. Realizo, então, o experimento do simulador de usina hidrelétrica colocando em duas alturas diferentes o pote com o qual joga água. Nesse momento, A11 (G3) fala:

A11 (G3) – (Altura mais baixa) 0,03 (V). (Altura maior em relação a anterior) 0,03, 0,04, 0,05 (V)... Aaaaaah!

A pergunta de contra-argumentação, aliada à interpretação do dado empírico, desafiaram A11 (G3) a transformar seu pensamento. Com isso, ele passa a compreender a importância da altura no processo, a ponto de relacionar com notícias que tratavam de problemas ambientais na formação de represas para a construção de hidrelétricas. Isso não foi resultado de uma simples transmissão ou da visualização do experimento, mas das operações de A11 (G3), realizadas sobre o mesmo. Assim, ao centrar-se no desafio, cria-se a possibilidade de propiciar a construção de conhecimento por parte do aluno.

Entretanto, desenvolver um experimento em sala de aula não é suficiente. O professor precisa ter um objetivo claro para ele e saber como poderá usá-lo. Aebli (1978) traz a ideia de que o problema deve estar vivo para o aluno, sendo esta a condição para que ele possa iniciar a sua pesquisa pessoal com vistas à compreensão. Ainda assim isso não garante que este desafio será encarado assim pelo aluno, como acontece com o grupo G4. Uma vez que o experimento não desafia o aluno, esse passa a realizar apenas abstrações empíricas, como foi o caso da resposta de G4 à questão 2) do pré-teste, citada anteriormente.

Isso pode acontecer por dois motivos: desinteresse do aluno (como parece ser os casos de A15 (G4) e A16 (G4)) ou falta de estrutura construída para compreender o conteúdo (como parece ser os casos de A13 (G4) e A14 (G4)). Ambos podem ser causados pela falta de estrutura que tornaria o aluno capaz de assimilar o conteúdo em pauta. A afetividade é a energia da estrutura; sem ela não poderá haver interesse para aprender. A falta de interesse do aluno gera grande e inevitável dificuldade para o

professor, mas deve ser reconhecida e ser alvo de reflexão para sua evolução como educador.

Outro fator que se intensifica quando se abre espaço para os alunos exporem seus pensamentos é o da cooperação. Na compreensão da Epistemologia Genética, estabelece-se a cooperação quando indivíduos conseguem relacionar sua forma de pensar com as de outros indivíduos, criando espaço para uma novidade que é obtida a partir da coordenação destas diferentes perspectivas em uma nova totalidade de pensamento. Isso é, a cooperação exige descentração; ela é co-operação, operação partilhada que pressupõe muitas ações, previamente coordenadas.

No que se refere à lógica, a cooperação é, primeiramente, fonte de crítica: graças ao controle mútuo, repele simultaneamente a convicção espontânea própria do egocentrismo e a confiança cega na autoridade adulta. A discussão produz, assim, a reflexão e a verificação objetiva. (Piaget, 1932/1994, p.299-300)

Sendo assim, a cooperação abre espaço para uma possibilidade de aprendizagem que explora os desafios que surgem a partir da troca de ideias entre os alunos. Isto permite ao professor transformar a sala de aula, de um espaço de exposição de um pensamento – o seu – para um espaço de construção de conhecimentos ou pensamentos, que surgem das relações construídas pela interação entre os diferentes modos de compreender um determinado conceito, isso é, da interação entre as atividades cognitivas de todos os sujeitos reunidos numa sala de aula.

A mudança de pensamento registrada por A3 (G1) em seu debate com A6 (G2) é um exemplo da importância desse processo. A3 (G1) sente necessidade de levar em consideração outro ponto de vista que está em oposição ao seu – necessidade de descentrar-se, portanto. Nesse momento, ele transforma suas ideias e consegue atingir a noção de nível III.

Outros dois exemplos ratificam as possibilidades pedagógicas que a cooperação entre os alunos podem trazer.

O primeiro aconteceu na aula 3. Após A11 (G3) externar seu pensamento sobre problemas ambientais gerados pelas usinas hidrelétricas, os alunos começam uma discussão que relaciona estes problemas e os desafios energéticos no Brasil. Isso levou ao surgimento de ideias sobre possíveis soluções que considerassem o papel do meio ambiente e ao mesmo tempo pudessem suprir a demanda energética brasileira.

O segundo aconteceu na aula 4, após A10 (G3) fazer uma comparação entre a potência elétrica das lâmpadas do experimento e a potência mecânica de motores de carros. Os grupos G1 e G3 abrem imediatamente uma discussão sobre a relação entre o consumo de gasolina (relacionado diretamente à produção de energia para o motor) e a potência do motor, chegando à conclusão de que os carros mais potentes consumiam mais gasolina.

Estas duas discussões não estavam previstas no plano de ensino, mas surgiram da extrapolação dos objetivos iniciais guiados pelos pensamentos dos alunos e pelo seu processo de cooperação com vistas a uma conclusão que fosse coerente para todos. Por isso, penso que um plano de ensino deve trazer objetivos claros sobre o que se espera alcançar em termos de aprendizagem dos alunos. No entanto, ele necessita reconhecer que esta aprendizagem não está relacionada somente ao professor, no papel de transmissor de conteúdos, mas que pode ser construída nas discussões entre os alunos. Desta forma, uma metodologia de ensino focada na pergunta, que surge a partir da exploração crítica de experimentos bem preparados, torna-se desencadeadora de processos em sala de aula que permitem o surgimento de ideias e possibilitam a cooperação entre os alunos; cooperação que exige o exercício da descentração, condição básica para que o aluno torne-se autônomo.

Entretanto, estabelecer esta cooperação em todos os domínios da sala de aula é desafiador para o professor, uma vez que não é simples ou fácil os alunos superarem seu egocentrismo intelectual; a descentração é um processo trabalhoso que dura a vida toda; mas, na adolescência, ela deve sofrer um salto da qualidade. A dificuldade maior nas atividades desta pesquisa residiu na construção da escrita coletiva dos grupos.

Apesar da intensa troca de ideias durante as discussões para tentar entender os problemas formulados nas questões dos pré-teste e pós-teste, as respostas ficavam restritas ao que a maioria concordava, sem um debate mais intenso para chegar a essa conclusão. Excetua-se nesta análise o grupo G4, no qual apenas dois alunos (A13 e A14) realizaram as tarefas, pois, segundo o próprio grupo, eram os que mais sabiam o conteúdo. No entanto, sequer houve discussão entre os dois, apenas uma divisão de tarefas. Já G1 foi o grupo que mais se aproximou de um consenso que realmente atendia às ideias dos alunos desse grupo, como mostram suas falas referentes à discussão das questões 1) e 2) do pré-teste, descritas anteriormente nos relatos da aula 1.

A dificuldade não se concentra simplesmente no fato do “ato democrático” da escolha de uma resposta que agrade a maioria. Somente esse fator já demanda um aspecto importante da cooperação que é o respeito mútuo. No entanto, observei que o debate foi menos intenso no momento da escrita, o que reduziu as possibilidades de evolução intelectual dos alunos por ocasião dessa atividade.

No entanto, formulo a hipótese de que a atividade de escrita coletiva pode gerar resultados mais interessantes se for realizada em uma turma durante um período maior do que o desta pesquisa. Infiro isto a partir da evolução das respostas que são encontradas no pós-teste, como as mostradas anteriormente para a questão 2), na qual observei que as atividades experimentais agregaram mais alunos às discussões nos grupos, exigindo que houvesse um debate um pouco mais apurado para chegar às respostas consensuais. Penso que um trabalho em longo prazo poderia qualificar melhor esta atividade e gerar resultados mais significativos em termos de aprendizagem.

9.2. A conservação de energia como tema recorrente no ensino de Física

Uma das razões principais para a proposta desta pesquisa foram as possibilidades que o tema da conservação de energia poderia trazer para o ensino de Física. Devido a sua universalidade, dentro dos ramos da Física, sempre suspeitei que esta característica levada ao ensino poderia propiciar a constituição de uma compreensão da Física por parte dos alunos do Ensino Médio. A união de diversos ramos da Física em torno de teorias cada vez mais gerais é um esforço constante desta ciência. Einstein, por exemplo, propôs uma teoria de unificação que ainda hoje não foi comprovada.

Ao explicar a formação do conhecimento através da abstração reflexionante, Piaget (1977/1995) destaca a importância da distinção entre dois aspectos: conteúdo e forma.

O conteúdo está centrado nos observáveis, dos quais o sujeito reúne as qualidades comuns, tentando colocá-los em uma totalidade que lhes dê significado. As totalidades só existem no plano das formas, não dos conteúdos. Os conteúdos são

singulares, as formas universais. Logo, são as formas que constituem a transformação dos conteúdos, uma vez que redimensionam em um novo patamar as ligações lógicas entre eles.

Há, assim, pois, uma alternância ininterrupta de reflexionamentos → reflexões → reflexionamentos; e (ou) de conteúdos → formas → conteúdos reelaborados → novas formas, etc., de domínios cada vez mais amplos, sem fim e, sobretudo, sem começo absoluto (Piaget, 1977/1995, p.276-277)

Como, nesse contexto, a conservação de energia poderá constituir-se como conteúdo rico de modo a proporcionar significados que irão propiciar a formação de conceitos (totalidades operatórias, portanto formas) por parte dos alunos? Penso que o cerne da questão encontra-se em sua recorrência entre os diversos campos da Física. O conceito de conservação de energia permite que o aluno percorra diferentes conteúdos da Física, de modo a dar coerência e significado as suas próprias ideias, propiciando uma aprendizagem *lato sensu*, isto é, construindo novidades no plano do desenvolvimento. Penso, então, que o ensino da conservação de energia possibilita a conexão entre diferentes áreas da Física, criando relações entre os conteúdos dessa ciência.

As características fundamentais desta proposta de ensino, focada nas relações entre os conteúdos de Física e efetivada através de um tema recorrente no interior dessa ciência, mostram-se em algumas situações ocorridas nas aulas projetadas para esta pesquisa.

O grupo G1, durante a aula 1, ao responder a questão 1) do pré-teste, discutiu fortemente sobre a influência da altura e da trajetória (o que eles chamam por vezes de concavidade) na velocidade final das bolinhas no experimento das rampas, como mostra o diálogo abaixo:

A2 (G1) – Eu acho que quanto maior for a distância de início mais força ela (a bolinha) vai chegar no final. Este aqui (trilho II) é mais curto, assim ela (a bolinha) vai ter uma velocidade mais constante comparado com as outras. Neste aqui (trilho I) ela (a bolinha) vai ganhar muito mais força e vai chegar com mais velocidade final, mais do que neste (trilho II).

A4 (G1) – Tu não tá entendendo que, no final deste daqui (trilho I), ela (a bolinha) vai perder força? Então, vai ficar a mesma coisa que no caminho mais reto (trilho II).

A2 (G1) – Mas ela (a bolinha) vai estar mais embalada no final (refere-se ao trilho I) por isso vai chegar com mais velocidade.

A4 (G1) – Eu acho que não estás entendendo, A2. Eu andei de skate, sempre no final a gente perde velocidade. Ganha velocidade no início, mas perde no final.

A2 (G1) – Mas temos a pergunta sobre velocidade e sobre o tempo. Eu acho que a velocidade (da bolinha) é maior para o trilho I e o tempo é menor para o trilho II.

A4 (G1) – Estás certo sobre o tempo, mas ainda acho que vai compensar a velocidade.

Como pode ser observado, há uma divisão de opiniões entre o papel da altura e o fator da trajetória como uma compensação para a velocidade que a bolinha atingirá na pista. Inclusive, A4 (G1) remete-se à sua experiência como skatista para justificar seu pensamento. Atitude importante, pois neste momento este problema físico passa a fazer sentido para ele. A resposta para à questão 1) b) do pré-teste demonstra esta divisão:

G1 – A rampa II poderá empatar com a I a III e a I ganhará, mas após isso, na hora de subir ela perderá quase toda a sua força, pois o final dela é muito íngreme em vista das outras.

Esta escrita traz uma clara dúvida sobre o papel do “íngreme”. Há dúvidas sobre se o que determina a velocidade da bolinha no final será um “íngreme” relacionado à trajetória, mais côncava ou mais plana, de determinada pista ou se isso dependerá apenas da altura.

Após a experimentação da aula 2, ainda assim o grupo permaneceu com dúvidas sobre estes fatores. No entanto, causou uma divisão que levou A1 (G1), A2 (G1) e A3 (G1) a optarem por reconhecer o papel da altura ao passo que A4 (G1) e A5 (G1) mantiveram a trajetória do trilho, que chamaram recorrentemente de concavidade ou angulação da pista, como fator principal para a velocidade no final. Cabe salientar que A3 (G1) mantém sua opinião sobre a influência da trajetória até o último momento da experimentação, mudando seu pensamento somente após uma discussão com A6 (G2) (como analisado na seção 9.1).

Esta maioria acaba por ganhar o destaque na resposta da questão 1) b) no pós-teste:

G1 – Todos chegam na mesma velocidade, ou quase a mesma, porque a altura de lançamento influencia na velocidade.

Este trecho destacado demonstra um sinal de discordância no grupo. Ao lhes perguntar sobre essas dúvidas, observei que um dos fatores que ainda impedia a compreensão da situação pelos alunos A4 (G1) e A5 (G1) era a não identificação dos processos de transformação dos tipos de energia mecânica. Isto é, eles ainda estavam

presos apenas à identificação das variáveis do sistema, mas não conseguiam relacioná-las.

Nessas situações, nas quais o aluno não identifica a importância de determinada variável física em um problema, os professores utilizam recorrentemente exercícios de fixação. Nesse modelo de ensino, o aluno deve realizar diversos exercícios sobre um mesmo problema físico (mesma situação física), geralmente com diferenças entre eles apenas de ordem numérica, de modo a fixar (decorar) a função daquela variável na Física. No entanto, esse método de repetição sistemática, embasado em uma epistemologia empirista, adotado por grande parte das escolas brasileiras, mostrou-se inadequado ao longo do tempo, uma vez que historicamente tem afastado os alunos da disciplina de Física. Isso vem causando déficits de aprendizagem nessa disciplina no Ensino Médio, como revelaram os últimos relatórios do PISA (Programa Internacional de Avaliação de Estudantes) sobre a aprendizagem de alunos em ciências no Brasil. O País ocupa apenas a 53ª posição no ranking de desempenho, na prova de ciências, entre 65 países pesquisados (INEP, 2012).

Entretanto, uma nova via que se abre é o ensino que busca a compreensão por parte do aluno. Essa compreensão demanda a ação interpretativa do aluno frente a diversos problemas propostos e em diferentes situações físicas, possibilitando que ele tire conclusões que oportunizem a generalização do conceito físico. Esta generalização propicia que o aluno crie sentido para a uma série de problemas com os quais já se deparou, como a afirmação sobre o skate, e abre possibilidades para que ele consiga entender os próximos que poderão vir.

No contexto desta via alternativa, na aula 3 é apresentado um simulador de usina hidrelétrica. Durante a realização do experimento, pergunta-se aos alunos o que faz a turbina gerar energia elétrica. Em suas respostas, os alunos não sentem necessidade de ter uma altura de queda para a água de modo que ela possa chegar com uma velocidade maior nas pás das turbinas. Realiza-se, então, uma parte do experimento no qual se varia a altura de onde é despejada a água sobre as pás do gerador elétrico. Este ponto se torna crucial para a efetivação da altura como fator preponderante na velocidade final da água, tendo como resultado maior a geração de energia elétrica.

A4 (G1) comenta, com propriedade, que poderíamos utilizar como queda d'água o experimento das rampas, transformando a energia potencial gravitacional inicial em

“velocidade” (*sic*), fazendo com que as pás se movimentassem e gerassem energia elétrica.

Temos assim a ligação que faltava para que A4 (G1) pudesse compreender a relação entre velocidade e altura no experimento dos trilhos. Através de um problema no qual se processa uma transformação entre energia mecânica e energia elétrica, situação física diferenciada daquela dos trilhos, A4 (G1) passa a entender a relação entre variáveis que antes não compreendia e pôde expandir isso para outros problemas físicos. Nesse momento, ele desenvolve um conceito de conservação de energia que o permitirá entender diversos outros problemas. A5 (G1) demonstra reação semelhante e concorda com A4 (G1).

Na questão 3 do pós-teste, todos os alunos do grupo G1 finalmente concordam entre si:

G1 – Quanto maior a altura em que a água é jogada sobre uma turbina, maior é a força gerada na água. Daí, quando a água bate nas pás, o giro delas é transformado em energia elétrica.

Analisando o contexto da aula observei que esta “força” referia-se à velocidade da água ao chegar às turbinas.

As possibilidades de um problema que busca uma relação entre conteúdos da Física, como mostrado na situação analisada, não se limitam apenas a um acúmulo de situações, mas à ligação entre elas. Nesse sentido, concordo com Aebli (1978) quando afirma que

O problema que serve de base à livre pesquisa do aluno deve ter uma amplitude tal que antecipe uma operação significativa, e não seja simplesmente um ato de pensamento parcial cujo papel no conjunto do raciocínio só o mestre conhece. (Aebli, 1978, p.94)

Sendo assim, o ensino deve oferecer uma situação complexa ao aluno. Esta complexidade não se trata simplesmente de tornar um problema físico difícil, sentido muitas vezes atribuído a esta palavra. A complexidade refere-se a não reduzir a Física a conteúdos simples, dentro das áreas, mas uni-los de forma a compreender esta ciência como uma generalização dos comportamentos regulares da natureza na intenção de criar leis universais.

Ligar as diversas variáveis de um problema em um novo patamar (reflexionamento) e constituir um novo significado através destas ligações (reflexão) é

produto de abstrações reflexionantes. Isto acontece com A4 (G1), quando relaciona duas situações que, a princípio, parecem ser diferentes dentro de uma mesma totalidade.

Essas significações que o uso da conservação de energia como tema recorrente traz é explicitada também em uma situação do final da aula 3, comentada na seção 9.1, quando A11 (G3) faz relações entre o experimento das usinas hidrelétricas e os problemas ambientais causados por elas. A11 (G3) o faz de maneira espontânea e isso acaba repercutindo e criando um ambiente de produção de ciência em sala de aula. Outro exemplo, também já analisado, é a relação entre potência elétrica e potencia mecânica que A10 (G3) realiza durante as atividades da aula 4.

Observo nestas situações uma aprendizagem que foge do simples conteúdo escolar, como em uma aprendizagem *stricto sensu*. Ela vai além, pois relaciona os conteúdos que são propostos em sala de aula com conteúdos trazidos pelos próprios alunos. Isso permite a criação de um significado por parte desses alunos. Assim, pode-se dizer que esta aprendizagem é capaz de transformar a estrutura cognitiva do aluno, caracterizando o processo como aprendizagem *lato sensu*.

Em suma, o ensino através do uso da recorrência do conceito de conservação de energia no interior da Física propiciou que os alunos pudessem compreender a relação entre as variáveis físicas dentro de diversos contextos. Essas relações surgiram da necessidade de criar um significado que pudesse explicar as formas como ocorrem as transformações de energia nos sistemas e o porquê da energia conservar-se mesmo entre fenômenos físicos distintos.

Esta ideia traz uma proposta diferenciada de ensino, uma vez que apresenta o desafio ao aluno através de conteúdos da Física conectados de maneira intradisciplinar e não em conteúdos separados ou fragmentados e sem relação entre eles. Este modo de ensinar se mostrou significativo quando observamos que os alunos ao conseguirem generalizar a ligação entre variáveis físicas, referentes à conservação de energia dentro de um determinado problema físico, levam estas conclusões para a compreensão de problemas anteriores a este. Este fato caracteriza a formação de um conceito por parte deles, produto de abstrações refletidas sobre as abstrações reflexionantes, realizadas a partir das coordenações das ações realizadas sobre os conteúdos propostos em sala de aula.

10. Conclusão da parte II

Através das análises das aulas realizadas, pude refletir sobre os fatores que se destacam em uma metodologia de ensino que se centra no desafio e inspira-se no método clínico piagetiano e sobre o papel da conservação de energia como tema recorrente no ensino de Física possibilitando uma prática intradisciplinar entre os conteúdos dessa ciência. Estas reflexões me permitiram elencar três relações que surgiram com esta metodologia de ensino de Física e que orientaram os processos que aconteceram nas salas de aula projetadas para a coleta de dados desta pesquisa:

- Relação Conteúdo \leftrightarrow Professor \leftrightarrow Aluno;
- Relação Professor \leftrightarrow Conteúdo \leftrightarrow Aluno;
- Relação Aluno \leftrightarrow Conteúdo \leftrightarrow Aluno.

A primeira relação é Conteúdo \leftrightarrow Professor \leftrightarrow Aluno. Esta relação exige que o professor tenha domínio dos conceitos que pretende ensinar. No entanto, isto não é suficiente. Em nossas universidades temos profissionais de exímia formação em suas áreas de conhecimento, entretanto isto não garante que eles desenvolverão um ensino que permita que seus alunos consigam compreender os conteúdos que serão desenvolvidos. Temos, como exemplo, os altos índices de reprovação nas disciplinas de Cálculo, na graduação (ver Lopes, 1999), na qual boa parte dos professores, mesmo sendo excelentes pesquisadores em Matemática, não consegue reverter, pelo ensino que praticam, estas estatísticas. Contudo penso que o problema destes professores encontra-se na maneira como eles imaginam que o conteúdo pode ser aprendido pelos alunos.

A escola ao longo do tempo, fundada numa epistemologia empirista, tornou o professor um profissional responsável por inculcar ideias nos alunos. Logo, surge o pensamento de que quanto mais um professor souber de um determinado conteúdo, e transmitir isso para seus alunos, maiores serão suas chances de aprendizagem. No entanto, o que pensam os alunos sobre o conteúdo que lhes é ensinado? Será que eles não têm ideia alguma sobre qualquer tema que o professor trabalhará?

A Epistemologia Genética é rica em exemplos que provam que crianças e adolescentes têm noções que algumas vezes superam os conteúdos propostos nas salas de aula. Na primeira parte deste trabalho, apresentei o caso das noções de conservação de energia de alunos do Ensino Médio. Este estudo mostrou que os alunos têm formas

de pensar que podem aproximar-se desse conceito físico. Sendo assim, o aluno tem uma estrutura de conhecimento que deve ser levada em consideração nos processos escolares.

Penso que a forma de integrar o domínio conceitual do professor e o pensamento do aluno é centrar o ensino não mais na transmissão, mas na pergunta gerada pela experimentação. A pergunta procura perseguir o pensamento do aluno e buscar que ele encontre coerência entre suas ideias. Mas, o aluno não responderá a perguntas se for vazio de ações, de experimentação.

Como elemento central da relação Conteúdo ↔ Professor ↔ Aluno, o professor deve estar consciente do conteúdo que irá ensinar. Surgem duas possibilidades: separar esses conteúdos em áreas específicas ou trabalhá-los num plano de intradisciplinaridade. Piaget (1977/1995), ao teorizar sobre o papel da novidade como produto da abstração reflexionante, afirma que:

Uma outra novidade intervém, assim que a conceituação consciente das coordenações em jogo provoca comparações com outras coordenações análogas, não constituindo, porém, simples repetições da primeira em novas situações (Piaget, 1977/1995, p.280)

Dessa forma, Piaget define a comparação como um dos processos que permitem ao sujeito desenvolver-se, pois

[...] estas comparações conduzem então, em certos casos, à abstração de estruturas qualitativas comuns, bastante gerais, para servir à solução de uma grande variedade de problemas (Piaget, 1977/1995, p.280).

O problema deve ser complexo de tal forma que permita ao sujeito comparar e relacionar as variáveis referentes ao conteúdo que é proposto, proporcionando também que possa levar estas conclusões para diferentes contextos de sua vida.

Penso que o uso da conservação de energia, como tema recorrente no ensino de Física, permitiu que esse objetivo fosse alcançado nas aulas projetadas e desenvolvidas para esta pesquisa. Os alunos conseguiram realizar conexões entre as variáveis referentes à energia que não se limitaram a apenas uma situação física, mas utilizaram-se da comparação entre os vários fenômenos físicos trazidos pelos experimentos para dar significado aos seus pensamentos. Penso que isto é possibilitado pelo caráter intradisciplinar que a conservação de energia traz para a compreensão da Física, unindo diversos campos desta ciência.

Deixo claro que a Física apresenta outros conteúdos, que podem ser tratados de forma intradisciplinar e que também podem ser usados como temas recorrentes. Temos, por exemplo, o conceito de força que pode ser explorado em diversos campos da Física. A ideia que surge desta pesquisa é a importância do ensino focar problemas que não se reduzam a si mesmos, mas que podem ser tratados de forma intradisciplinar, o que permite ao aluno transitar de um a outro conteúdo, aprendendo a comparar diversas situações e construir seus próprios pensamentos.

A segunda relação que se estabelece é Professor \leftrightarrow Conteúdo \leftrightarrow Aluno. Esta relação centra-se no conteúdo não como um objetivo final, mas como o propulsor das ideias que podem surgir em sala de aula. Nesse contexto, entra o papel da experimentação. Experimentar não pode se limitar ao sentir, mas deve proporcionar o agir. Esta ação é o passo inicial para a formação do conhecimento. Podemos experimentar com Artes, com História, com Matemática, dentre outras áreas, pois todas essas disciplinas têm problemas que precisam da ação do aluno para que se constituam como novidades para ele. Assim, entendo que experimentar é mais que o próprio experimento físico, pois é um gerador de ideias, de hipóteses e de perguntas. Isso é, os conteúdos devem trazer possibilidades de serem experimentados, de modo que possam ser desencadeadores do processo de construção de conceitos (formas).

Remetendo para o caso da Física, a experimentação constitui a base desta ciência, uma vez que a natureza precisa ser testada para que possamos entendê-la. No entanto, o ensino de Física afastou-se dessa experimentação ou delegou a ela um papel de “demonstrador” de leis físicas, como se as ideias fossem pré-existentes à própria realidade. Em boa parte das escolas e universidades separam-se as aulas de Física em teóricas e experimentais. Em tal contexto, como a experimentação poderá fazer parte da constituição de uma lógica em Física se não passa de instrumento de comprovação?

Penso que esta pesquisa trouxe um ponto de vista diferenciado sobre a experimentação no sentido de explorá-la como um gerador de perguntas e desafios, possibilitando que os alunos pudessem formar suas ideias durante o desenrolar da atividade.

Um ponto importante para a experimentação que foca na ação dos alunos sobre o experimento é a clareza dos objetivos a que se pretende chegar com ela. Isto exige conhecimento por parte do professor das formas de pensar do aluno. Nesta segunda parte da pesquisa, baseei minha metodologia de ensino nas noções de conservação de energia, levantadas na primeira parte. Aquele estudo possibilitou que pudesse prever,

durante as aulas, possíveis respostas dos alunos e preparar contra-argumentos para desafiá-los a justificar ou organizar seus pontos de vista.

Entendo que o professor não precisa ser um pesquisador no sentido estrito deste termo (Becker, 2007) para que realize experimentos semelhantes ao que fiz na primeira parte do trabalho e analise as noções de seus alunos para diferentes conteúdos. O que o professor precisa para isso é de uma base teórica que o permita refletir sobre sua forma de ensinar e um domínio conceitual que o possibilite explorar problemas que podem ser desafiadores para seus alunos. No caso da Epistemologia Genética, o professor encontrará vasta literatura sobre as noções de sujeitos em diferentes conteúdos que já foram investigadas, durante os quase noventa anos deste campo de pesquisa. Essas noções servem de ferramentas para entender os caminhos do pensamento do aluno, possibilitando a construção de um ensino em que a experimentação é fonte de novidades para os estudantes.

Na relação Professor ↔ Conteúdo ↔ Aluno é importante a definição de um objetivo para o ensino de modo a culminar no desenvolvimento de uma noção que chegue ao conceito que se deseja que o aluno construa. No entanto, é importante salientar, e isto é demonstrado nas análises desta pesquisa, que nem todos os alunos conseguem chegar ao nível do conceito ao final de uma aula ou de um curso. Isto é normal visto que diferentes sujeitos construíram estruturas cognitivas diferenciadas; nesse sentido, não há dois indivíduos iguais. Por isso, torna-se importante a avaliação constante das noções que os alunos apresentam através de suas ações em sala de aula, de modo que o professor possa identificar essas diferenças e buscar formas de atender a estes alunos (novas perguntas, novos desafios), visando a permitir que eles possam evoluir. Esta avaliação constante é uma tarefa que pode parecer difícil para o professor, mas o torna um promotor do desenvolvimento do aluno, uma vez que está focado em desafiar as ideias do estudante de modo que este consiga chegar a uma noção próxima ao saber científico a partir das noções que já construiu e de suas próprias conclusões.

A terceira relação encontrada é Aluno ↔ Conteúdo ↔ Aluno. Esta relação constitui-se, a partir do estabelecimento de uma sala de aula na qual é valorizada a troca de ideias entre os alunos. Surgiram nesta pesquisa, como mostrada nas análises, situações onde a evolução do pensamento dos alunos se deu através dos debates entre eles sobre as situações experimentais e perguntas propostas a partir do experimento. Estes debates foram além do conteúdo e possibilitaram caminhos que não eram previstos pelo ensino.

Entra nesta relação, o papel da cooperação entre os alunos como fonte da criação de novidades. Este fator é decisivo para o fortalecimento do ambiente de criação e construção em sala de aula, uma vez que pode levar os alunos à autonomia. Dessa forma, os alunos começam a independem da ação constante do professor e a trilhar seus próprios caminhos, na direção da autonomia, função formadora que deve estar na base da escola.

Penso que esta relação é mais do que reconhecer a influência do meio social e cultural no interior dos processos educacionais. É a oportunidade da constituição do convívio respeitoso e crítico numa sociedade e da identificação das formas de produção cultural.

Piaget (1967/1996) assinala o papel da sociedade na construção do conhecimento ao afirmar que

[...] o indivíduo só chega às suas invenções ou construções intelectuais na medida em que é sede de interações coletivas, cujo nível e valor dependem naturalmente da sociedade em conjunto. O grande homem que parece lançar novas correntes é apenas um ponto de intersecção ou de síntese de ideias elaboradas por cooperação contínua. (Piaget, 1967/1996, p.416)

Dessa forma, o indivíduo necessita também da cooperação para dar coerência aos seus pensamentos. Como consequência, o indivíduo passa a compreender o seu papel na sociedade e as transformações que ele poderá nela realizar.

Em resumo, uma metodologia de ensino de Física centrada no desafio, com inspirações no método clínico, busca saber a respeito dos mecanismos do pensamento do aluno, de modo a compreender como poderá desafiá-lo e fazê-lo evoluir em seus conceitos e em sua capacidade operatória. Sua ação em sala de aula não se limita à relação entre professor e aluno, mas possibilita a construção de conceitos a partir de uma possível cooperação entre os alunos. Como resultado, realiza aprendizagem *lato sensu*, na qual os conteúdos não se encerram em si, como respostas prontas, mas desafiam o aluno a ligá-los de modo a constituir conceitos, generalizando suas conclusões a outros domínios de sua vida.

11. Considerações Finais

Penso que as conclusões desta tese começam a responder aos meus questionamentos sobre os problemas do ensino de Física; questionamentos que busco responder desde minha graduação. Este campo de pesquisa ganhou sentido para mim no momento que adentrei pela primeira vez em uma sala de aula; eu disse que era o professor de Física e, no mesmo instante, três alunos se levantaram e disseram que iriam embora. Eles argumentaram que nunca iriam aprender Física, então nem adiantava tentar. Este fato me fez refletir sobre o meu papel de professor. De que forma eu poderia, através do ensino, reverter essa realidade?

Pensei inicialmente que a transmissão de maneira precisa dos conteúdos iria fazer os alunos aproximarem-se da Física. No entanto, por mais que eu me esforçasse, muitos alunos ainda pareciam entediados com aquele conjunto de fórmulas que para mim faziam muito sentido e explicavam o mundo.

Uma mudança aconteceu quando entrei como bolsista do PET (Programa de Educação Tutorial), ligado ao curso de Licenciatura em Física da UFPel. Comecei a fazer parte do projeto “Oficinas de Física”, que levava experimentos de Física para as escolas da rede pública de Pelotas. Observei que os experimentos realizados atraíam os alunos, o que para mim já era esperado. No entanto, me surpreendeu que nem sempre eram os experimentos mais elaborados visualmente que chamavam a atenção dos alunos, e sim aqueles em que eram desafiados a descobrir o porquê do acontecimento de algum fenômeno físico, mesmo que fosse sobre a comparação do tempo de queda de uma bolinha de papel e uma pedra, ao serem soltos da mesma altura⁵.

Na busca da explicação dessa situação, aproximei-me da Epistemologia Genética durante meus estudos na disciplina de Fundamentos Psicológicos da Educação. Inicialmente foi desafiador entender uma teoria que compreende a evolução do conhecimento no ser humano como obra de suas ações, uma vez que parece que o conhecimento acumulado pela humanidade é tão somente algo pronto a ser transmitido

⁵ Esta simples experiência traz por si só uma série de questionamentos na Física. As ideias apresentadas pelos alunos durante esta experimentação nos levaram a pesquisar as noções de queda livre de corpos de sujeitos da Educação Básica, como pode ser visto em Luduvico, Frezza, Silva (2009).

ao indivíduo. Porém, ao superar este pensamento do senso comum, passei a analisar o papel da minha prática de ensino a partir da seguinte pergunta: como poderei através do ensino ser um possibilitador ou promotor do desenvolvimento dos meus alunos, de tal forma que possam compreender a Física? Esta pergunta foi o propulsor da minha decisão de tornar-me um pesquisador em educação.

Em uma das minhas primeiras aulas na pós-graduação (Mestrado, PPGEdU/UFRGS), o professor Fernando Becker disse uma frase que coincidia com as minhas ideias e me instigou a pensar ainda mais sobre o ensino. Ele afirmou que “a sala de aula deve ser mais laboratório e menos auditório”. O senso comum pensa no laboratório como um lugar altamente equipado, onde o pesquisador esconde-se para obter suas teorias. Entretanto, ao entrar em um laboratório científico, observa-se que é intensa a discussão de ideias entre os cientistas de modo a que possam interpretar os resultados de seus experimentos. Apesar de serem objetos de ação dos cientistas, trazendo desafios à sua compreensão, as máquinas por si só não são capazes de elaborar conceitos. Já o ser humano é capaz de significar os dados e elaborar teoria, constituindo conceitos e generalizações que explicam a realidade. Assim, o que define um laboratório científico não é o grau de sofisticação de seus equipamentos, apesar destes serem fundamentais nos altos níveis científicos, mas as possibilidades de construção de teorias desencadeadas pela experimentação que, como disse anteriormente, pode ser uma simples comparação entre as quedas de uma pedra e de um papel.

Por que a escola não pode virar um laboratório de experimentação de conteúdos e elaboração de ideias? Temos um grupo de seres humanos à disposição e inúmeras possibilidades de experimentos de baixo custo, como os desta pesquisa, que podem trazer para a sala de aula o cerne do laboratório: a criação de novidades, processo fundamental para a evolução da ciência e, constituindo ciência, para a evolução do ser humano.

A questão que segue é: será que os alunos desejam essa mudança? Será que eles não preferem ser meros espectadores? Tentando responder a esta dúvida, perguntei em minha ficha de avaliação o que os alunos achavam que deveria ser feito para que a Física fosse mais interessante. Apresento algumas respostas como exemplos do que a escreveram:

A3 (G1) – Que os professores explicassem mais de modo que nós pudéssemos entender do nosso jeito.

A7 (G2) – Exemplos das reações da Física. O porquê das leis serem assim. Por que as leis existem?

A10 (G3) – Experimentos, visitas aos lugares que tenha a Física como algo relacionado. Por exemplo, Planetário e Observatório Astronômico da UFRGS.

Estas três falas têm como ponto comum o desejo dos alunos de participarem e, principalmente, serem elementos ativos nos processos educacionais. Eles querem experimentar, entender do seu jeito, compreender os porquês, ou seja, tornar a escola um laboratório. Em resumo, eles querem ser desafiados pela escola e isto precisa urgentemente ser levado em consideração no ensino.

Abrir espaço para a experimentação na escola é valorizar a ação dos alunos. A ação constitui o fundamento do processo de construção do conhecimento, pois é através dela que o sujeito tenta interpretar a realidade. No entanto, a realidade oferece uma infinidade de desafios para o sujeito, sendo que para compreendê-la ele precisará reinventar-se. Reinventar-se significa reorganizar e reelaborar, em um patamar superior, os instrumentos de pensamento que não explicam mais o que é observado no mundo físico e não são mais coerentes no interior do sistema cognitivo do sujeito. O resultado deste processo é a constituição do novo, próprio das abstrações reflexionantes. Sendo assim, a escola que toma como base a ação do aluno e o desafia a refletir e coordenar suas próprias ações, possibilita que ele compreenda não somente um conteúdo específico em sala de aula, mas o desenvolvimento de formas (estruturas), as quais permitem generalizar o pensamento para diversos conteúdos, inclusive para aqueles com os quais se depara fora da escola. Em suma, a escola deixa de ser um espaço de aprendizagens somente no sentido restrito (*stricto sensu*) e passa a ser um lugar de aprendizagens no sentido amplo (*lato sensu*). É nesse viés que Piaget (1983) define o papel da educação ao afirmar que

O ideal da educação não é aprender ao máximo, maximizar os resultados, mas é antes de tudo aprender a aprender; é a aprender a se desenvolver e aprender a continuar a se desenvolver depois da escola. (Piaget, 1983, p.225)

Ao priorizar a ação do aluno em sala de aula, o grande desafio para o professor torna-se a organização das ideias que surgem a partir da experimentação – fundamental para exercer a pergunta no mais genuíno sentido do método clínico. A resposta para este desafio não parece estar na centralização de todos os processos da sala de aula no

professor, mas na divisão dessas responsabilidades com os alunos; centrado, pois na interação. Isso nada tem a ver com deixar os alunos sozinhos, mas tem tudo a ver com compreender que a cooperação entre os alunos é fundamental na sua formação, desde que possam contar com a presença substantiva do professor. Aceitar pontos de vista diferentes exige o exercício da descentração, fator essencial para o desenvolvimento da autonomia intelectual. Penso que a grande contribuição que a educação pode oferecer para a sociedade é formar indivíduos autônomos que: compreendam o seu espaço no mundo; respeitem o espaço dos outros indivíduos; e criem em conjunto novas ideias que, além de satisfazer o desejo individual, sirvam para a evolução de toda a sociedade.

Analisando esses cenários, acima expostos, penso que a metodologia de ensino de Física centrada no desafio e inspirada no método clínico piagetiano apresenta-se como uma alternativa e uma novidade para a escola, pois a exploração do pensamento do aluno, através de perguntas e contra-argumentações, que surgem a partir de suas ações sobre um experimento, pode trazer todas as suas capacidades para o exercício no interior da sala de aula; nesse ambiente ativo e cooperativo ele levará adiante seu desenvolvimento cognitivo. As análises e conclusões trazidas neste trabalho dão base para essa afirmação.

Nesta pesquisa teve-se como foco analisar a aplicação dessa metodologia de ensino de Física no Ensino Médio. Porém, lanço como perspectiva para pesquisas futuras a ampliação dessa metodologia para outros níveis de ensino como, por exemplo, no Ensino Superior; o mesmo poderá ser feito por outros profissionais em outras áreas de conhecimento. Tenho como hipótese que a adoção de uma pedagogia ativa nas disciplinas de Física básica, dos primeiros quatro semestres dos cursos de graduação em ciências exatas e engenharia, pode ser uma alternativa no enfrentamento aos altos índices de reprovação de alunos que cursam essas disciplinas. Penso que os professores de Física básica poderiam utilizar os laboratórios das universidades com maior frequência, tomando a experimentação como promotor da compreensão e questionamento das leis da Física por parte dos alunos e não somente como instrumento de comprovação ou demonstração do que é ensinado em aula. Uma metodologia de ensino como a apresentada nesta pesquisa poderia contribuir na aproximação entre essas disciplinas e as atividades experimentais, proporcionando a construção de significados em Física, fator fundamental para a aprendizagem.

Espero que o professor, ao ler este trabalho, aceite o desafio desta tese e possa, assim, contribuir comigo e trazer para a escola novas possibilidades para esta metodologia de ensino de Física. Entendo que a conclusão de uma etapa de pesquisa como esta consiste num fechamento de ideias em uma nova totalidade, que anteriormente não era alcançada pelo pesquisador. Porém, ao atingir essa totalidade, compreendo que ela se apresenta como conteúdo para a realização de novas formas, novas totalidades que poderão ser atingidas mais para frente.

12. Referências Bibliográficas

AEBLI, H. *Didática Psicológica: aplicação à didática da psicologia de Jean Piaget*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1978.

BECKER, F. [1993] *A epistemologia do professor: o cotidiano da escola*. 16ª ed. Petrópolis: Vozes, 2013.

BECKER, F. [2001] *Educação e construção do conhecimento*. 2ª ed. Porto Alegre: Penso, 2012.

BECKER, F. Ensino e pesquisa: qual a relação?. In BECKER, F.; MARQUES, T. (org.). *Ser professor é ser pesquisador*. Porto Alegre: Mediação, 2007.

BECKER, F. *Epistemologia do professor de matemática*. Petrópolis: Vozes, 2012.

BUCUSSI, A. *Introdução ao conceito de energia*. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2007.

COLLARES, D. A perversa lógica da alienação. In BECKER, F.; FRANCO, S. (org.). *Revisitando Piaget*. Porto Alegre: Mediação, 1998.

COLLARES, D. *Epistemologia Genética e Pesquisa Docente: estudo das ações no contexto escolar*. Tese de Doutorado – Faculdade de Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

COLLARES, D. A multiplicação para além da tabuada: uma investigação das operações aditivas e multiplicativas In BECKER, F.; MARQUES, T. (org.). *Ser professor é ser pesquisador*. Porto Alegre: Mediação, 2007.

DELVAL, J. *Introdução à prática do método clínico: Descobrimo o pensamento das crianças*. Porto Alegre: Artmed, 2002.

FEYNMAN, R.; LEIGHTON, R.; SANDS, M. *The Feynman lectures on Physics*. Old Tappan: Addison Wesley, 1970.

INHELDER, B.; PIAGET, J. [1955] *Da lógica da criança à lógica do adolescente*. São Paulo: Pioneira, 1976.

INHELDER, B.; BOVET, M ; SINCLAIR, H. [1974] *Aprendizagem e estruturas do conhecimento*. São Paulo: Saraiva, 1977.

INPE. *Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA): resultados nacionais – PISA 2009/ INPE*. Brasília, 2012

LOPES, A. *Algumas reflexões sobre a questão do alto índice de reprovação nos cursos de Cálculo da UFRGS*. In: *Matemática Universitária* n° 26/27 – junho/dezembro, 1999 – pp. 123-146

LARA, I. C. M. ; BORGES, R. M. R. . *Mapeamento de dissertações e teses sobre interdisciplinaridade produzidas no Brasil no século XXI*. In: VIII ENPEC, 2011, Campinas. Atas - VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2011.

LUDUVICO, L. P.; SILVA, J. A.; SILVA, F. D.; FREZZA, J. S. *Atividade experimental no ensino de Física: em busca da aprendizagem significativa*. In: XVI CIC - Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas. Rio Grande do Sul – Brasil, 2007.

LUDUVICO, L. P. ; FREZZA, J. S. ; SILVA, J. A. *A Epistemologia Genética na Física: Uma análise sobre as operações mentais envolvidas na interação com o fenômeno da queda livre de corpos*. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009, Vitória-ES. Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009.

PEDUZZI, L. PEDUZZI S. *Física básica B*. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2007.

PIAGET, J. [1932] *O juízo moral na criança*. São Paulo: Summus, 1994.

PIAGET, J. [1936] *O nascimento da inteligência na criança*. Rio de Janeiro: Zahar, 1978.

PIAGET, J. ; INHELDER, B. [1941] *O desenvolvimento das quantidades físicas na criança*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1975.

PIAGET, J. [1957a] *Psicologia e epistemologia: por uma teoria do conhecimento*. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1978.

PIAGET, J. [1957b] *Les liaisons analytiques et synthétiques dans les comportements du sujet*. Paris: Presses Universitaires de France, 1957.

PIAGET, J. ; GRÉCO, P. [1959] *Aprendizagem e conhecimento*. Porto Alegre: Freitas Bastos, 1974.

PIAGET, J. [1967] *Biologia e conhecimento: ensaio sobre as relações entre as regulações e os processos cognoscitivos*. Petrópolis: Vozes, 1996.

PIAGET, J. [1970] *A epistemologia genética*. Petrópolis: Vozes, 1971

PIAGET, J. [1974a] *A tomada de consciência*. São Paulo: Melhoramentos/Edusp, 1977.

PIAGET, J. [1974b] *Fazer e compreender*. São Paulo: Melhoramentos/Edusp, 1978.

PIAGET, J. [1977] *Abstração reflexionante: relações lógico-aritméticas e ordem das relações espaciais*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.

PIAGET, J. *A epistemologia genética / Sabedoria e ilusões da filosofia/Problemas de psicologia genética*. In: Coleção "Os Pensadores". 2ª ed. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

VINH-BANG. El método clínico y la investigación en la psicología de niño: In: AJURIAGUERRA, J. *Psicología y Epistemologia Genética*. Buenos Aires: Proteo, 1970.

Apêndice 1

TERMO DE CONSENTIMENTO INFORMADO E ESCLARECIDO

Eu, _____ aluno da Escola Estadual _____ aceito participar da presente pesquisa, objeto de dissertação de Mestrado, a ser realizada pelo professor Luciano Pereira Luduvico, sob a orientação da Profª Drª Darli Collares.

Por sua vez, o pesquisador Luciano Pereira Luduvico, mestrando no Programa de Pós-Graduação em Educação da UFRGS, compromete-se a manter em sigilo os dados que me coloquem em exposição e que possam promover prejuízos a mim.

Por fim, estou ciente de que mestrando e orientadora colocam-se à disposição para todo e qualquer esclarecimento que se fizer necessário, durante o período de realização da referida pesquisa.

Porto Alegre, ____ de _____ de 2011

Assinatura do Pesquisador

Assinatura do Orientador

Assinatura do participante

CPF/RG:

e-mail / telefone:

Assinatura do Pai ou Responsável

Apêndice 2

TERMO DE CONSENTIMENTO INFORMADO E ESCLARECIDO

Eu, _____, autorizo o registro em áudio e vídeo da minha participação ou do aluno pelo qual sou responsável nas atividades de pesquisa que serão realizadas durante as aulas da disciplina de Física da Escola Estadual de Educação Básica Monsenhor Leopoldo Hoff, ministradas pelo Professor Luciano Pereira Luduvico, aluno de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Estou ciente que os dados coletados serão utilizados para fins exclusivos de pesquisa sobre a utilização da noção de conservação de energia como estratégia de ensino da Física para o Ensino Médio. Esta investigação será objeto de análise para a construção da tese de doutorado do professor ministrante, sob orientação do Prof. Dr. Fernando Becker.

Tanto o orientando como o orientador comprometem-se a não publicar em veículos de comunicação dados que possam identificar os sujeitos envolvidos, evitando, dessa forma, qualquer prejuízo que possa advir do uso dos mesmos.

Quaisquer dúvidas podem ser esclarecidas pelos e-mails: lucianoluduvico@yahoo.com.br ou f.becker@terra.com.br.

Porto Alegre, _____ de _____ de 2012.

Assinatura do aluno ou responsável

RG ou CPF do aluno ou responsável

Prof. Luciano Pereira Luduvico

Prof. Dr. Fernando Becker

Apêndice 3

FICHA DE AVALIAÇÃO

Observação: Anexar junto a esta Ficha de Inscrição o Termo de Consentimento Informado assinado por você ou por seu responsável, caso você seja menor de idade.

Nome: _____ Idade: _____ Sexo: _____

E-mail: _____ Telefone: _____

Você já foi reprovado na Disciplina de Física? _____ Se sim, quantas vezes? _____

O que você acha da disciplina de Física?

Muito fácil Fácil Mais ou menos Difícil Muito difícil

Se você tivesse que classificar as dificuldades que você tem para aprender Física, como você faria?
(Assinale do 1º ao 5º lugar)

Professores não sabem ensinar Física. A Física é muito abstrata.
 A Física não é algo interessante. Não compreendo a Matemática.
 Outro. Qual? _____

O que você acha do Ensino da Física no Ensino Médio?

Ótimo Bom Regular Ruim Péssimo

Nas aulas de Física são realizados experimentos em sala de aula?

Sim Não

O que você acha que deveria ser feito para a Física ficasse mais interessante para você?

Apêndice 4

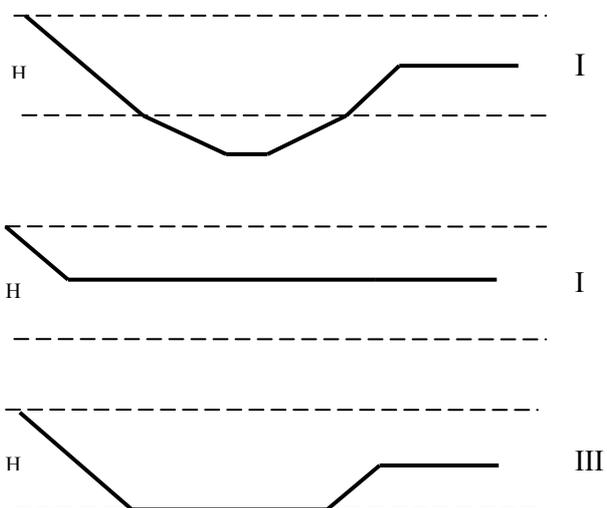
Questionário pré e pós-teste

Nome:

Data:

Turma:

1) Uma bolinha de vidro é largada no início de cada uma das rampas da figura abaixo.

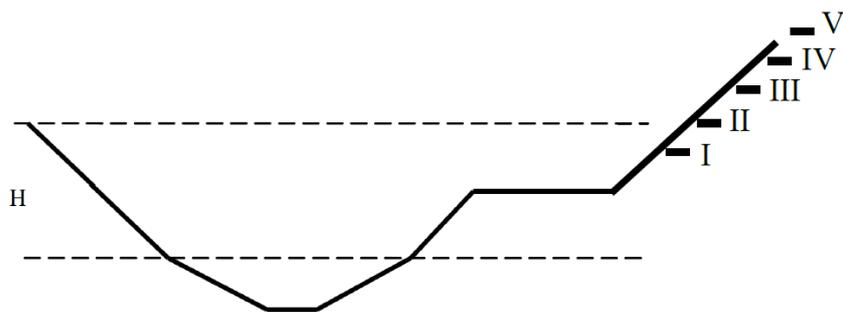


No final de cada percurso é medido o tempo que levam para percorrer a trajetória da rampa e a velocidade que chegam ao final dela. A partir disso pergunta-se:

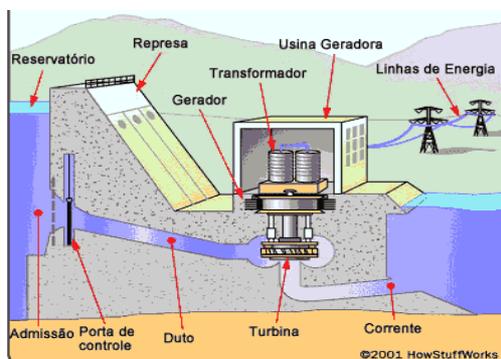
a) Existe algum percurso em que a bolinha levará menos tempo para chegar ao final ou todas chegarão ao mesmo tempo? Justifique explicando detalhadamente o porquê disto ocorrer, ou seja, que fatores influenciam nesta conclusão.

b) As bolinhas chegarão ao final do percurso com a mesma velocidade em todas as rampas ou alguma chegará com maior velocidade? Justifique explicando detalhadamente o pôr que disto ocorrer, ou seja, que fatores influenciam nesta conclusão.

2) No desenho abaixo está a representação de uma rampa extensora que foi colocada no final de uma das rampas da questão anterior. São assinaladas na figura (de I a V) 5 possibilidades para a altura máxima que uma bolinha largada do início da rampa poderá atingir. Com qual das alternativas você concorda? Justifique explicando detalhadamente o porquê disto ocorrer, ou seja, que fatores influenciam nesta conclusão.



3) Na figura abaixo está a representação básica de uma usina hidrelétrica, usada para geração de eletricidade. Analisando os elementos que aparecem no desenho e com base em seus conhecimentos, tente explicar como funciona este tipo de usina. Justifique explicando detalhadamente os fatores que influenciam em suas conclusões.



4) Na figura abaixo está a representação básica de uma usina eólica, que utiliza alguns “cataventos” como instrumento para geração de eletricidade. Analisando os elementos que aparecem no desenho e com base em seus conhecimentos, tente explicar como funciona este tipo de usina. Justifique explicando detalhadamente os fatores que influenciam em suas conclusões.



5) No mercado são encontrados diversos tipos de lâmpadas. As mais conhecidas são de dois tipos: Incandescente e Fluorescente. Abaixo são mostrados exemplos destas lâmpadas.



Lâmpada Fluorescente



Lâmpada Incandescente

Em muitos lugares, as lâmpadas incandescentes estão sendo substituídas por fluorescentes devido à economia que as fluorescentes representam na conta de luz. Outra desvantagem das lâmpadas incandescentes é o fato de aquecerem muito mais o ambiente do que uma fluorescente, o que representa uma desvantagem em um país como o Brasil onde as temperaturas são elevadas. Sendo assim, com base em seus conhecimentos e nas informações acima, como você poderia explicar o porquê das lâmpadas incandescentes serem menos econômicas do que as fluorescentes? Justifique explicando detalhadamente os fatores que influenciam em suas conclusões.