

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

LUCIANO PEREIRA LUDUVICO

**FÍSICA E EPISTEMOLOGIA GENÉTICA:
Noção de conservação de energia em alunos do Ensino Médio**

**Porto Alegre
2011**

LUCIANO PEREIRA LUDUVICO

**FÍSICA E EPISTEMOLOGIA GENÉTICA:
Noção de conservação de energia em alunos do Ensino Médio**

Dissertação 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 Mestre em Educação.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Darli Collares.

**Porto Alegre
2011**

CIP - Catalogação na Publicação

Luduvico, Luciano Pereira

FÍSICA E EPISTEMOLOGIA GENÉTICA: Noção de
conservação de energia em alunos do Ensino Médio /
Luciano Pereira Luduvico. -- 2011.

41 f.

Orientadora: Darli Collares.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Educação, Programa de
Pós-Graduação em Educação, Porto Alegre, BR-RS, 2011.

1. Epistemologia Genética. 2. Ensino de Física. 3.
Ensino Médio. I. Collares, Darli, orient. II. Título.

Agradecimentos

À Profª. Darli Collares pelo apoio, 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.

Ao Prof. Fernando Becker pelas discussões nos Seminários que embasaram a construção desta pesquisa e pela disponibilidade para assumir a tarefa de minha orientação no doutorado devido ao processo de mudança de nível.

À Profª. Tania Marques pelo apoio e orientação nesse longo processo de mudança de nível, durante todas as etapas.

Aos colegas de orientação e seminários pelos debates e construções que nos levam a novas possibilidades na pesquisa.

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

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

À CAPES 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. A coleta de dados foi realizada a partir de situações experimentais com base no Método Clínico. Os sujeitos foram 17 alunos, com idade entre 16 e 18 anos, de uma escola estadual de Ensino Médio, da cidade de Porto Alegre. Foram encontrados três níveis de desenvolvimento para a noção de conservação de energia. Este trabalho aponta os rumos futuros da pesquisa em nível de doutoramento, na qual serão investigadas, em uma turma de Ensino Médio, as repercussões de uma estratégia de ensino baseada na noção de conservação de energia, tratada com tema transversal dentro de diferentes contextos da Física.

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

Abstract

This work, which is based on Genetic Epistemology of Jean Piaget, researches the notion of conservation of energy in high school students. The data acquisition was performed from an experimental situation based on the Clinical Method. The subjects were 17 students, aged between 16 and 18 years old, from a state high school in the city of Porto Alegre. Were found three levels of development for the notion of conservation of energy. This work points out the future directions of research in doctoral level, which will be investigated in a group of high school students, the repercussions of a teaching strategy based on the notion of conservation of energy, treated like a cross-cutting theme within different contexts of Physics.

Keywords: Genetic Epistemology, Physics Teaching, High School.

Sumário

Introdução.....	9
1. Considerações sobre Conservação de Energia.....	13
2. Conservação de Energia e Epistemologia Genética.....	17
3. A Investigação.....	22
3.1. Objetivo	22
3.2. Os Sujeitos.....	22
3.3. Procedimento para a Coleta de Dados.....	22
3.4. Instrumentos para a Coleta de Dados.....	23
3.4.1. Situação Experimental: Identificação e coordenação entre as variáveis relativas à Conservação de Energia.....	24
3.4.2. A Entrevista.....	27
4. Apresentação, Análise e Discussão dos Dados.....	29
4.1. Nível I – Não conservação das variáveis referentes à conservação de energia na Física.....	30
4.2. Nível II – Não conservação da energia total do sistema, mas com conservação da inversão entre energia cinética e potencial.....	31
4.3. Nível III – Conservação das variáveis referentes à conservação de energia na Física.....	33
5. Conclusão.....	35
6. Referências Bibliográficas.....	38
Apêndice 1.....	39
Apêndice 2.....	40

Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema da Tomada de Consciência (Piaget,1977).....	18
Figura 2 – Skatista em uma Rampa.....	19
Figura 3 – Esquema dos trilhos que compõem o experimento.....	24
Figura 4 – Imagem lateral do experimento mostrando o caminho do trilho I e, ao fundo, do trilho II.	25
Figura 5 - Imagem lateral do experimento 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.....	25
Figura 6 – Foto de topo do Experimento mostrando os três trilhos.....	26
Figura 7 – Foto de frente do experimento mostrando os três trilhos e, ao fundo, os trilhos extensores.....	26
Figura 8 – Sistema massa-mola.....	40

Introdução

Durante minha graduação na Licenciatura em Física¹ tive a oportunidade de dar aulas em turmas do Ensino Médio. Como professor, sempre fiquei intrigado com a dificuldade e a aversão que grande parte dos alunos nutre 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 nova alternativa. No entanto, a reflexão sobre os processos da educação nos leva a superar essa visão de senso comum e essa foi minha motivação para ingressar no Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Mas qual a importância da Física na escola? Ora, a Física está presente desde situações do cotidiano como ligar uma lâmpada, cozinhar alimentos, assistir televisão até complexos sistemas industriais. Compreender essa área de conhecimento 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 da 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 possuam uma visão limitada da Física e que justifica a famosa frase: “Mas o que isso tem a ver com minha vida?”.

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

Como professor de Física no Ensino Médio, portanto, instiga-me quando um aluno, frente a um problema, não consegue compreender todas as áreas da Física que estão 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. Essa força resultante faz com que a carga tenha uma 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 a 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 com situações físicas, no cotidiano, o indivíduo encontra uma série de conteúdos colocados sobre um mesmo problema. Nesse sentido, de que maneira ele pode reconhecer esta complexidade do problema físico e dar conta dela?

Frente a isso, chamaram-me a atenção algumas ideias dos alunos expressas durante as aulas sobre conservação de energia. Eles conseguiam relacionar diferentes campos da Física pensando sobre as transformações de energia que estavam envolvidas no problema e na sua conservação mesmo para 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 que 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 pode 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 exatamente na estratégia utilizada pelo sujeito ao coordenar diferentes variáveis compondo uma totalidade, sendo que a compreensão do problema está na busca de relações entre os fenômenos físicos em jogo no mesmo.

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 que possui 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 transversal 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 educacionais 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 o desenvolvimento do conhecimento e do pensamento do sujeito, desde o nascimento do indivíduo, através da análise da lógica com que tenta compreender um objeto e como ele se transforma de modo a dar conta dos sucessivos desequilíbrios nessa interação. Dessa maneira, não estamos abordando apenas o problema físico e nem apenas os processos mentais do sujeito, mas a gênese do conhecimento que provém da correlação entre esses dois pólos.

A partir do referencial teórico da Epistemologia Genética, busco compreender como a transversalidade da noção de conservação de energia dentro da Física pode ser um fator desencadeador na aprendizagem desta área. Esta pesquisa comporta dois momentos. O primeiro, objeto deste trabalho, tratará da “investigação da noção de

conservação de energia em alunos do ensino médio”. O segundo, preparado pelo primeiro e objeto de realização da tese de doutorado, se ocupará da “investigação, no Ensino Médio, das repercussões de uma estratégia de ensino baseada na noção de conservação de energia, tratando esse tema como transversal dentro de diferentes contextos da Física”.

Tenho como hipótese geral que a noção de conservação de energia pode ser desenvolvida e utilizada pelo sujeito mesmo que ele não use essa nomenclatura científica. Para isso, parto do pressuposto que essa noção é resultante:

- 1) das implicações que os sujeitos realizam entre as variáveis referentes às diferentes energias de um problema físico, mesmo que o sujeito não se refira ao termo energia;
- 2) da compreensão de uma simetria no tempo para uma certa quantidade (denominada pela Física como energia total do sistema) que é resultado da análise em diversos instantes de tempo das implicações descritas no ponto 1.
- 3) da diferenciação entre força e energia.

Para apresentar esta dissertação, organizo o presente texto trazendo um breve histórico e alguns conceitos importantes sobre energia e sua conservação. Em seguida, faço uma relação entre o tema e a Epistemologia Genética de Jean Piaget, base teórica de minha pesquisa. Isso feito, trato da investigação propriamente dita, descrevendo a metodologia e procedimento de pesquisa, os sujeitos investigados, a análise das respostas dos alunos, a discussão dos dados obtidos e algumas conclusões.

Vale destacar, neste momento, que, embora se tenha entrevistado 17 sujeitos, apenas uma resposta significativa à caracterização de cada nível será trazida ao corpo deste trabalho. Isso se deve ao exíguo tempo que se teve para realizar a investigação e entregar-se o presente texto, em função da indicação de mudança de nível ao doutorado e das exigências da CAPES, que prevê, aos que são colocados nessa situação, o tempo de três meses para a defesa da dissertação. Isso, no entanto, não implica na superficialidade das análises, embora imponha a necessidade de se estabelecer escolhas na abordagem e seleção de respostas representativas. Os dados reunidos na presente investigação serão retomados nas pesquisas a serem realizadas no período de doutoramento.

1. Considerações sobre Conservação de Energia

A palavra Energia vem do grego *enérgeia* (ενέργεια) 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 da 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). A partir dessa leitura histórica e da experiência como professor, percebi nos meus alunos uma indiferenciação entre esses dois conceitos. Sendo assim, considero interessante compreender a influência desse fator na noção de conservação de energia por parte dos alunos.

Conforme relata Bucussi (2007), os físicos tentavam encontrar, 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 identificavam 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 nos experimentos propostos nesta pesquisa de mestrado, cabe aqui uma 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 qual 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) em 1788, sendo que, a partir da natureza dos fenômenos mecânicos, ele classificou dois tipos de energia: energia cinética e energia potencial.

Dizemos que um corpo de massa m possui energia cinética quando ele possui 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 possui em relação a um determinado referencial. Podemos citar como exemplo uma laranja que se encontra presa no alto de uma árvore. No momento em que ela se desprender do galho, certamente entrará em movimento até chegar ao chão. Assim, a energia que ela possuía armazenada era proporcional à altura que ocupava em relação a esse referencial, cuja origem se encontra no chão e está na direção desse movimento. 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 verificar as transformações que ocorrem no 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 possui 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 transformar-se em energia cinética, entretanto, em qualquer instante dessa queda, ao somarmos os dois tipos de energia, teremos o mesmo valor de energia mecânica que havia no início.

Dessa forma, podemos resolver inúmeros problemas físicos 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, e calculemos 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 refere-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 concebe esse processo como tomada de consciência. Piaget (1977, p. 199) 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, 1977, p. 199).

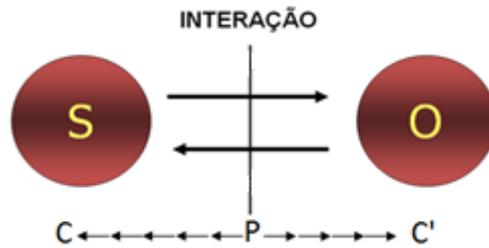


Figura 1 – Esquema da Tomada de Consciência (Piaget,1977)

Dessa maneira, e Feynman já dá uma pista disso, 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 às 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 para explicar o funcionamento de um sistema físico, indo para o centro C a que Piaget se refere, o sujeito passa a entender as propriedades desse sistema, isto é, indo para o centro C'.

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

A reversibilidade pode ser de duas formas (Inhelder; Piaget, 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 e a mesma distância ao eixo ou com o dobro da massa e na metade da distância.

É essa característica que torna operatório o pensamento do sujeito, constituindo uma estrutura que em pouco tempo se tornará capaz de superar o real e abrir condições para a elaboração de hipóteses. Piaget (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, levando-o, pela via dedutiva, às conclusões sobre as propriedades intrínsecas dos objetos.

Dentro da conservação de energia é possível analisar essa 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 sujeito possui uma energia potencial gravitacional em relação a um referencial no solo. Ao começar a deslizar na 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, temos que 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 que o sujeito realiza irá manifestar-se de forma consciente? Piaget (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

Dessa forma o autor chama a conexão entre essas significações, que o sujeito realiza em pensamento, de implicação significativa.

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.

Piaget(1978, p.179) afirma que

[...] 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[...]

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

sobre a situação experimental proposta nesta pesquisa. E, conseqüentemente, da sua noção de conservação de energia.

3. A Investigação

Nesta dissertação, tem-se como problema central de investigação a questão: *Quais são as noções de conservação de energia presentes nas argumentações em alunos do Ensino Médio na resolução de um problema físico?*

3.1. Objetivo

Investigar as noções de conservação de energia em alunos do Ensino Médio, tendo como suporte a base teórica da Epistemologia Genética.

3.2. Os Sujeitos

Os sujeitos da pesquisa foram alunos 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.

3.3. 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.

3.4. 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) piagetiana, 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 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 de modo que possa entender os caminhos da lógica dos sujeitos pesquisados durante a experiência, mas tomando cuidado para não induzi-los 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.

3.4.1. 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° .

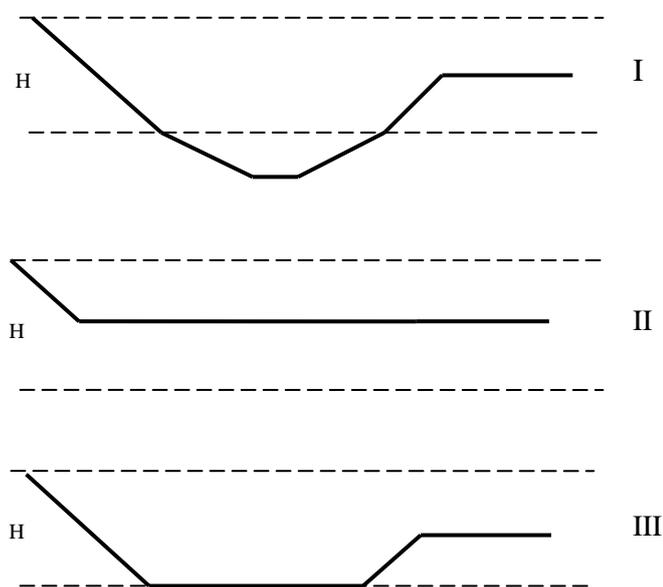


Figura 3 – Esquema dos trilhos que compõem o experimento.

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 experimento construído.



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



Figura 5 - Imagem lateral do experimento 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.

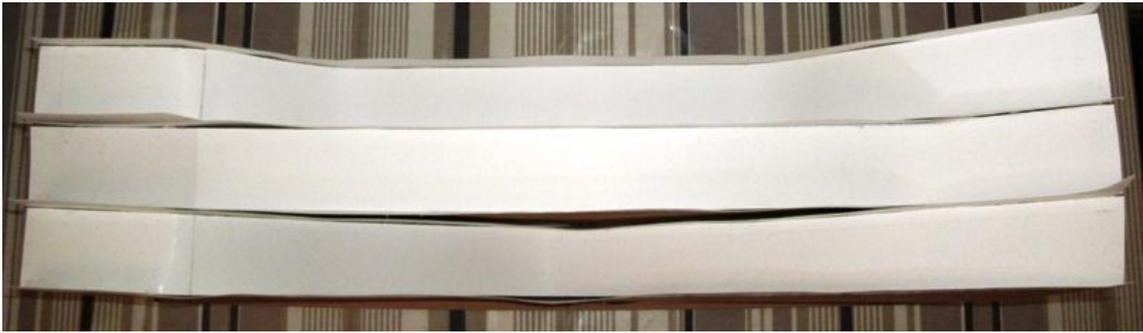


Figura 6 – Foto de topo do Experimento mostrando os três trilhos.



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

3.4.2. 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 as 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 inferidos no projeto de pesquisa três prováveis níveis 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. Além disso, confundem energia e força.

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

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

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 sua conservação da energia total do sistema. Para explicar o movimento eles recorrem à ação de uma força externa ou um impulso.

Outro fator considerado é a influência da própria trajetória da pista nessa conservação. Apesar de ficarem desafiados pela “quase” (assim considerados por eles) igualdade de alturas nos trilhos extensores, os sujeitos deste nível renegam esse dado e justificam uma igualdade apenas com a eliminação de algum elemento dessa trajetória, o que determinará a altura máxima obtida. Trago, como exemplo, do que foi exposto, 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? **Diferentes²**. Qual chegará primeiro? **No trilho II, porque é mais curto o caminho e no I tem uma lombra 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 lombra e segue reto e no trilho I tem uma lombra 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 lombra 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 lombra 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 seja comparada as alturas que cada um chega). O que observaste? **No trilho I realmente chega um pouco mais alto.** Existe a possibilidade das duas esferas chegarem na mesma altura?

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

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 elas, no qual as forças externas não são consideradas. 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 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 maior descida 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 reto.

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 o 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 energia cinética e potencial, não salientando alguma força externa ou impulso. Diferenciam-se do nível anterior, pois conseguem coordenar essa inversão com uma simetria no tempo, o que garante a conservação da energia total do sistema. Esse fator consegue excluir os fatores relacionados com a trajetória dos trilhos e explica a igualdade de alturas obtidas na etapa do trilho extensor. 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 o 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, ele 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 o III 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 alturas diferentes? **Acho que diferentes.** Qual chegaria com altura maior? **O trilho I.** Como justificas isso? **Talvez pela lombas ser maior.** (Soltam-se as esferas no trilho I e depois no III e pede-se que seja comparada as alturas 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, ele 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, ele retoma sua hipótese no momento 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 exige que o sujeito coloque essas operações em uma totalidade maior, na qual a inversão e a simetria coordenam-se possibilitando a construção do conceito de conservação de energia aproximado ao assumido pela Física.

5. Conclusão

Nesta dissertação, que no meu caso serve como uma projeção para a tese de doutorado, procurei analisar a situação experimental proposta, traçar meus objetivos e delinear o instrumento de coleta de dados.

Neste estudo proposto, 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 dessa noção e para os caminhos futuros desta pesquisa, visto que ela qualifica o trabalho de tese de doutorado.

A evolução do nível I para o nível II caracteriza-se pela exclusão da força ou do impulso como uma 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 estes somente um impulso ou ação de uma força externa garantiria uma possível conservação. No nível II, o sujeito começa a diferenciar esses conceitos sendo que a força parece ser excluída das argumentações.

Isso confirma a necessidade da aplicação de uma segunda situação experimental, prevista na proposta de mestrado e descrita no Apêndice 2, no desenvolvimento da tese de doutorado, de modo a evidenciar de maneira mais explícita as diferenciações (ou indiferenciações) entre energia e força que os sujeitos apresentam. Esse estudo terá como objetivo investigar de que forma o sujeito compreende essas duas grandezas que são de origens distintas, a energia que é escalar e a força que é de origem vetorial, auxiliando para o melhor entendimento dessa influência na noção de conservação de energia.

Um traço comum entre os níveis I e II é a dependência com a trajetória. O diferencial que no nível II existe o reconhecimento das alturas e sua relação com a velocidade. No entanto, mesmo com o início de uma relação entre as variáveis referentes à energia potencial e a 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 da 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 desse fator da trajetória.

Esta análise me possibilitou pensar a hipótese de que o reconhecimento de uma não conservação de energia, por meio de uma força dissipativa, necessita que o sujeito possua uma noção próxima ao conceito de conservação de energia da Física, pensando em um caso ideal ou próximo disso. Nesse sentido, ele iria atribuir a influência da trajetória não aos seus fatores geométricos, mas sim ao trabalho realizado pela força de atrito devido ao contato entre o corpo e a superfície da trajetória em que ele desliza. Pretendo, pois, coletar dados para a pesquisa de doutorado a fim de testar essa hipótese.

Na análise do nível III, pude acompanhar o percurso do pensamento dos sujeitos entrevistados, verificando que os mesmos não se apresentaram automaticamente nesse nível, mas foram chegando durante a própria entrevista. No entanto, seguiram a mesma ordem dos níveis anteriores, o que me permite inferir que a ordem de sucessão da progressão do pensamento até se chegar à noção de conservação de energia apresenta-se invariante. 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 que garante a conservação da energia total do sistema.

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 a exteriorização físico-causal proposta por Piaget

(1977) na obra *A tomada de consciência*. 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 este estudo possibilitou um ganho em compreensão dos meus objetivos de pesquisa. Pude aperfeiçoar meu instrumento de coleta tanto na sua construção como no domínio do método clínico. Ao realizar as entrevistas, pude utilizar de toda a flexibilidade que este instrumento possui para analisar as hipóteses dos sujeitos. Esta experiência me convence que a adaptação do método clínico à sala de aula (Collares,2004) é um instrumento que pode inspirar transformações da escola em um espaço de ação e interesse. Com esse propósito pretendo utilizar esse instrumento dentro da segunda etapa da pesquisa, agora em nível de doutorado onde irei investigar, em uma turma de Ensino Médio, as repercussões de uma estratégia de ensino baseada na noção de conservação de energia, tratando esse tema como transversal dentro de diferentes contextos da Física.

Neste momento, destaco o quanto foi (1) importante a procura do caminho lógico que leva à evolução do pensamento do sujeito a respeito da conservação de energia e (2) significativa essa delimitação dos níveis, uma vez que o primeiro movimento exigiu que me colocasse do ponto de vista do sujeito e o segundo que remetesse este ponto de vista a um lugar de teorização no viés epistemológico. Foi nesse caminho de análise que pude coordenar outros elementos inesperados à pesquisa 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 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”. Entendo que é nesse sentido que este estudo, que se fortalecerá na pesquisa de tese, irá poder auxiliar no contexto escolar: entender os alunos é saber suas capacidades, suas necessidades e os desafios que os motivam a querer conhecer.

6. Referências Bibliográficas

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

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: Meditação, 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 acções no contexto escolar*. Lisboa: Instituto Piaget, 2004.

DELVAL, J. *Introdução à prática do método clínico: Descobrendo 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. *Da lógica da criança à lógica do adolescente*. São Paulo: Pioneira, 1976.

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

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

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

PIAGET, J. *Fazer e compreender*. São Paulo: Melhoramentos, 1978.

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

VINH-BANG. El método clínico y La investigación en La psicología de niño: In: AJURIAGUERRA, J. *Psicologia 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 Prof^a Dr^a 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

Situação Experimental 2: Diferenciação entre Força e Energia.

Neste segundo momento será apresentado para o sujeito um sistema massa-mola, constituído por uma mola e um bloco na sua ponta, como mostra a figura 8. Esse sistema permanecerá em repouso durante a experiência, sendo que a haste que segura a mola e o bloco é móvel, de modo que o sistema possa ser deslocado de sua posição inicial.

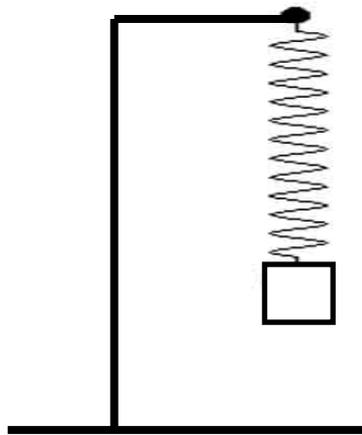


Figura 8 – Sistema massa-mola.

Novamente baseados nas três perguntas básicas que Delval (2002) coloca para o método clínico, proponho os seguintes questionamentos:

- 1) Perguntas de exploração:
 - 1.1) Comparando as forças que atuam no bloco, você pensa que elas são iguais ou diferentes? Se diferentes, de que forma elas se distinguem?
 - 1.2) Comparando agora as energias que atuam no bloco, você pensa que elas são iguais ou diferentes? Se diferentes, de que forma elas se distinguem?

2) Perguntas de justificação:

2.1) Por que há necessidade que as forças sejam iguais/diferentes (dependendo da resposta do sujeito no primeiro momento) ?

2.2.) Por que há necessidade que as energias sejam iguais/diferentes (dependendo da resposta do sujeito no primeiro momento) ?

3) Perguntas de controle:

3.1) Agora vamos rebaixar a haste que segura a massa e a mola (mantendo o sistema massa-mola em repouso). Nessa nova posição, comparando as forças que atuam no bloco, você pensa que elas são iguais ou diferentes? Se diferentes, de que forma elas se distinguem?

3.2) Também nessa nova posição, comparando agora as energias que atuam no bloco, você pensa que elas são iguais ou diferentes? Se diferentes, de que forma elas se distinguem?

3.3) As conclusões que você chegou nessa nova posição confirma suas ideias anteriores? Se sim, justifique. Caso contrário, como você explica o que aconteceu?

O objetivo desta situação experimental é compreender como essa diferenciação ou não pelo sujeito dos conceitos de força e energia pode repercutir na sua noção de conservação de energia. Nesse sentido, a ideia deste experimento é confrontar a natureza vetorial da força e a natureza escalar da energia, em uma situação onde há equilíbrio de forças, mas não de energias.