ALEXANDRE CAMPOS

**A Conceitualização do Princípio de Conservação da Energia
Mecânica: os processos de aprendizagem e a Teoria dos
Campos Conceituais**

São Paulo

2014

ALEXANDRE CAMPOS

**A Conceitualização do Princípio de Conservação da Energia
Mecânica: os processos de aprendizagem e a Teoria dos
Campos Conceituais**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Ensino de Ciências. Área de concentração: Ensino de Física

Orientador: Dr. Élio Carlos Ricardo

São Paulo

2014

Autorizo a reprodução e divulgação, total ou parcial, deste trabalho por qualquer meio convencional, eletrônico ou digital, para fins de estudo ou pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Campos, Alexandre

A Conceitualização do Princípio de Conservação da Energia Mecânica: os processos de aprendizagem e a Teoria dos Campos Conceituais. São Paulo, 2014.

299 f. + (anexo 242 f.)

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof. Dr. Élio Carlos Ricardo

Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Física (Estudo e ensino) ; 2. Educação;
3. Ensino; 4. Ensino e aprendizagem; 5. Didática.

USP/IF/SBI-041/2014

Campos, Alexandre. **A Conceitualização do Princípio de Conservação da Energia Mecânica: os processos de aprendizagem e a Teoria dos Campos Conceituais.** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Ensino de Ciências.

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Ao tempo passado e ao tempo futuro.

Dedicado à Maria da Conceição Leme Camacho (*in memoriam*),
Alice de Paula Campos, Ygor Lopes Campos e Arthur Sena
Campos.

Agradecimentos

Algumas pessoas podem dizer que a parte mais delicada de uma tese costuma ser a delimitação do objeto a ser pesquisado. Outras diriam que a construção do problema a ser tratado é a parte mais delicada, por indicar o objetivo a ser alcançado; ainda para outras, as questões metodológicas e a análise dos dados podem ser delicadas, ao lidarem com as subjetividades inerentes das pesquisas da área das Ciências Sociais. Essa delicadeza, certamente, traz consigo os esforços que cada parte da tese requer, para sua devida finalização. No meu caso, posso afirmar que todas essas partes foram delicadas. Todas exigiram muito esforço: a dificuldade na compreensão do referencial teórico, a construção do problema, o conceito físico considerado, a construção teórica, a metodologia e a análise dos dados. Algumas partes, como a análise dos dados, demandaram maiores cuidados; mas a construção metodológica também não foi fácil. Talvez, a maior dificuldade mesmo tenha sido a de me debruçar nas discussões filosóficas, acerca do que seja o *conceito*. É difícil apontar qual parte exigiu maior ou menor esforço!

Para muitas pessoas, provavelmente, não faz sentido tentar entender qual parte da tese demandou maior ou menor esforço, tendo em vista a unicidade do trabalho. Podemos até concordar com essa ideia, mas, se assim for, podemos perguntar: Qual a finalidade de escrever uma tese? O que levaria uma pessoa dedicar tanto esforço numa pesquisa? Qual é o verdadeiro ganho para a pessoa que escreve? As respostas não são tão óbvias quanto parece! Numa analogia à Física aristotélica, eu responderia que o que moveria as pessoas é a busca pelo repouso. Nesse sentido, um movimento forçado, ou contra a natureza, seria a produção do conhecimento e os caminhos percorridos para a produção da tese. É a inquietação, a curiosidade, a busca pelo novo, pelo diferente que leva a pessoa ao movimento, em busca do repouso, do prazer, da satisfação e gozo! Mas não é só isso que ela ganha em troca. Além desse produto final, do repouso infinitesimal alcançado (antes ainda da busca pelo próximo repouso), há outros ganhos que ocorrem durante o processo e que, nem sempre, podem ser racionalizados. Em contraponto ao movimento forçado, poderíamos comparar esses ganhos ao movimento natural, ou seja, aquele que ocorre na busca de seu lugar natural.

São esses ganhos que, para mim, constitui a parte mais delicada de uma tese. Os ganhos que temos durante o processo de maturação das ideias, o convívio social, a aprendizagem e o desenvolvimento pessoal. É um processo *quasi-estático* e que, por isso, pode passar despercebido ao final do trabalho. Faz parte desse processo todas as leituras, reuniões, encontros, simpósios, discussões, entendimentos e desentendimentos, tão comuns na vida acadêmica. Ainda, mais importante que isso são as pessoas que, de alguma forma, passam por esse nosso caminho. De certa maneira, poderíamos narrar nossas ideias, a pesquisa, as conclusões etc. Contudo, é indescritível a relevância que cada pessoa, a seu modo, teve para a finalização do trabalho. Pelo fato de, eu considerar os agradecimentos a parte mais delicada de uma tese, quero direcionar meu agradecimento a uma única figura: Os Professores (ou os Mestres)! É com eles que sempre aprendemos, são eles quem guia nos momento de escuridão. São eles quem nos carrega para um caminho seguro, quem nos ensina! Nesse sentido, não me refiro apenas aos professores formais, mas a todos aqueles que em algum momento de minha vida foram Professores.

O primeiro Mestre que me recordo não foi realmente um Mestre, do gênero masculino. Com essa Mulher aprendi minhas primeiras palavras, meus primeiros passos, minha primeira educação e primeiras lições. Ela acreditou em mim, levou-me pra escola precocemente e fazia questão de tomar tabuadas todos os dias, quando meus coleguinhas de sala ainda estavam aprendendo os segredos da soma e da subtração. Confiava naquela Professora! Ela sabia tudo! Foi meu primeiro porto seguro. Alguns anos depois, percebi que aquela Professora tinha problemas na sua formação inicial. Certa vez, sem entender equações do primeiro grau, solicitei sua ajuda de modo a me explicar o razão pela qual o “x” assumir o sinal “negativo” ao “trocar de lado”. Ela não soube explicar. E eu estava em apuros, pois tinha que entender aquela lógica para prosseguir. Como poderia avançar para o próximo exercício, sem entender a lógica do anterior? Fiquei dias tentando entender aquela coisa inexplicável, e minha Professora, aflita e sem poder me ajudar, tentava me acalmar. Lembro ter por volta de 10 anos e, inconformado com os problemas da formação inicial da minha Professora, ter dado um violento soco na mesa de centro da sala. Era

um dos poucos móveis naquela sala, adquirido a muito custo e xodó da Professora. Ela olhou pra mim, viu os pedaços de vidro sobre o tecido verde, pediu calma que daria tudo certo sem me colocar de castigo no milho, ou em pé no canto da sala. Estava raivoso com ela. Como uma pessoa que me ensinava tão bem tabuadas não sabia o mistério do “x”? Mais tarde, algumas décadas depois, essa Professora foi concluir sua formação inicial, num curso de Ensino de Jovens e Adultos, retomando seus estudos ainda na antiga quinta série, sendo, inclusive minha aluna durante o Ensino Médio. Foi uma realização ter minha maior Mestra comigo! Devo reconhecer, contudo, que tenho uma grande dívida com ela. É a mesa de centro com vidro! Antes disso quero agradecê-la por tudo, principalmente por acreditar em mim e em meus irmãos! Obrigado Mamãe!

Da mesma maneira quero agradecer os outros Mestres dessa minha primeira escola, chamada Lar: Meu Papai, com sua teimosia de sempre e escolha equivocada pelo Palmeiras; minha Branca e a Nega, dupla de brigas na infância sem esquecer o *Spock*, ou seja, minhas lindas e amadas irmãs Adriana e Andréia de quem hoje sinto tanta saudade e de meu irmão, amigo e companheiro de todas as horas Cleber. Minha avó Maria que, infelizmente, não quis esperar eu terminar e a dona Alice que resolveu esperar! Minhas primas mais próximas Ana Alice e Ligia. A todos eles devo meus primeiros esforços e a vontade de prosseguir. Devo adicionar aqui todos os agregados: Marcos Antônio, Vanessa Sena, Nelson, Elias, Robson e Gisele.

Entre tantos Mestres e Mestras há uma Mestra especial em minha vida. Com essa mulher aprendi a ousar mais. Também aprendi a ser mais comedido com o uso das palavras. Se estive num aparente afastamento ou introspectivo, saiba que meus pensamentos e mais puros sentimentos estavam direcionados a você, que sempre soube me apoiar. Tenho orgulho de nossas conquistas individuais e em conjunto. Muito obrigado Mestra Denise.

No caminho tive ainda outros Mestres e Mestras. Lembro alguns que me ajudaram na escolarização formal e a eles e elas meus sinceros agradecimentos. Recordo-me, em especial, de duas professoras que tinham posturas exemplares: uma de Língua Portuguesa, professora Nadir e outra de

História, professora Marlise. Agradeço a elas pelas várias leituras e resenhas exigidas, pelas chamadas orais e aulas que me envolvia plenamente. Hoje minha relação com a escolarização formal é de muita proximidade e, por isso, vejo na figura de alguns colegas professores as figuras das “Nadires” e “Marlises” na seriedade e dedicação com que tratam seus “Alexandres”. Meus agradecimentos à todos eles.

Num nível pouco acima, no que posso chamar de meu "pré-doutorado", devo agradecer dois Mestres com influência direta no meu ingresso na vida acadêmica. Refiro-me aqui, ao professor Ivã Gurgel e ao professor Guilherme Bronckington. Devo um agradecimento todo especial a eles. Lembro, como se fosse hoje o dia em que estive no processo seletivo, na tentativa de ingressar como membro no Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física (LaPEF), da Faculdade de Educação. A entrevista ainda é viva em minhas lembranças, assim como a ansiedade antes de saber da decisão final. Quero que saibam que fiquei muito feliz pela escolha e, sempre tive muito prazer em trabalhar com vocês.

Terei que ter cuidado para não me esquecer de ninguém. Essa é a verdadeira dificuldade ao escrever os agradecimentos. Antes de prosseguir, preciso deixar claro que esse projeto foi desenvolvido em oito anos e não em quatro. Os primeiros quatro, realizado no LaPEF, colocou-me em contato com grandes Mestres que muito me ensinaram. Professor Tadeu Nunes com sua seriedade e obsessão pelo raciocínio analítico; professor Wellington com sua paciência; professor Armando e sua calma oriental; professora Guaraciaba e sua capacidade de síntese. Em nossa companhia havia outros Mestres que jamais me esquecerei: querido Jorge Nicolau e sua inteligência extrema; Talita, sempre doce; Milton Schiavone, homem da informática; o tímido Márlon. Não posso me esquecer de Nicolli Bernardo que sempre me ajudou, seja separando materiais, seja agendando o uso de espaços para pesquisa ou cursos de formação. Além deles, há aqueles que nem podem ser chamados de Mestres nem de professores, mas de Meta-Mestres por sempre serem visionários. Seria fácil adjetivar esses Meta-Mestres como novos alquimistas, como magos do Ensino de Ciências ou como videntes (algo assim); são eles: professora Nobuko Ueta, a quem serei eternamente grato seja pelas explicações de física

(sem esquecer os biscoitinhos); professora Lúcia Helena Sasseron, por sua sensatez e inteligência incomum; professora Thais Fortunato, pelos frutíferos momentos de conversa; professor Maxwell, pelas conversas sobre formação de professores. Ainda acima desses seres estranhos, e não terráqueos, há aqueles que são os Primeiros Motores, por moverem os outros sem serem movidos. Quero agradecer, em especial, ao Mestre Maurício Pietrocola por tudo que sempre fez, pelas diversas oportunidades, por acreditar e, principalmente, por aquilo que julgo ser sua maior qualidade: a generosidade. Muito obrigado a todos vocês!

Após esse período, de "pré-doutorado", fui aceito formalmente como aluno do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências. Fiquei muito feliz com essa admissão. Ainda mais feliz eu fiquei ao descobrir quem me orientaria. Era um professor com quem havia acabado de ingressar na Faculdade de Educação, de fala mansa, muito paciente, sempre tranquilo e dono de um vasto repertório de piadas e "causos". Confesso agora que tive alguma dificuldade de adaptação, principalmente pela liberdade que esse Mestre sempre me deu. Ele me deixava solto, livre, fazendo minhas próprias escolhas e deixando que eu aprendesse com meus próprios erros sem, ao mesmo tempo, me expor a riscos excessivos. Hoje percebo a lição que me ensinou e que, por sinal, é uma das mais valiosas que podemos receber de um verdadeiro Mestre: a da autonomia intelectual. Poderia facilmente escrever sobre o que aprendi com sua inteligência, com sua postura humilde, discreta e com sua sensatez, mas, nesse período, nenhuma outra aprendizagem foi tão importante quanto a da autonomia intelectual. Para isso, ele não proferiu nenhuma palavra, foi tudo conduzido magistralmente, na batuta de nossos encontros. Eu o admiro imensamente e tenho Orgulho (com "O" maiúsculo) de ter sido seu orientando. Obrigado Mestre Élio Carlos Ricardo.

Nesse processo do doutoramento conheci alguns outros Mestres, que também agregaram valor a minha conduta com algumas reflexões pontuais, seja para a vida, seja para a pesquisa. Quero agradecer, em especial, ao Mestre dos Magos Djalma Nunes Paraná, pelos momentos de conversa que tivemos sobre os mais variados assuntos; ao ex-Mestre da rede pública e companheiro Jucivagno e; a Mestra escritora Tassiana. Meu agradecimento

especial aos colegas do grupo de discussão nas figuras das Mestras Luzia, Márcia e do Mestre Luiz Gomes.

Devo agradecer o pessoal dos estágios, que tive a imensa felicidade de conhecer e trabalhar durante meses, seja atuando na Escola de Aplicação, seja nas escolas da rede como educador de estágios. Meu obrigado especial às Mestras Jany, Maria da Glória, Sandra, Juliana, Maria Helena e Denise de Assis.

Agradeço imensamente a Mestra professora Cristiane Gotschalke, por me atender com toda atenção e recomendar as leituras de Granger e Wittgenstein. Pena não ter me organizado adequadamente para aproveitar melhor suas ideias sobre linguagem e Ensino de Ciências. Creio que ainda nos veremos, sinto estar em débito contigo! Outro Mestre que devo agradecimentos para recomendações de leituras de filosofia e epistemologia é o filósofo, amigo anarquista de longa data, da Faculdade de Filosofia e Letras Afonso Rocha Lacerda; a ele devo as leituras comentadas de Kant e Cassirer. Vale a esse Mestre amigo as conversas que tivemos acerca dessas obras.

Quero agradecer àqueles que tornaram possível a confecção final dessa pesquisa, ou seja, os professores do Instituto de Física da USP, em especial à Mestra Nora e aos professores Mário José, Elisabeth Andreoli, Tânia Tomé e Vera, aos professores do Colégio Parthenon nas figuras da Mestra Jorgina, do Mestre Edson e a todos os alunos da graduação em física e do ensino médio, em especial, Raissa, Gabriel Augusto, Mariana, Gustavo, Vagner Souza, Carmen, Fábio Abud, Valdir Vitalino, Antônio Serafim, Robson Sobral, Vagner Souza, Walter Leopoldo, Renan Miniltsky.

Por fim, agradeço aos Mestres que aceitaram discussão final dessa pesquisa, na defesa da tese. Obrigado ao Mestre Mikael, ao Mestre Ivã Gurgel, à Mestra Lúcia Sasseron e um agradecimento especial ao Mestre Custódio, pelo esforço para a participação na banca.

RESUMO

CAMPOS, A. A Conceitualização do princípio de conservação de energia Mecânica: os processos de aprendizagem e a Teoria dos Campos Conceituais. 2014. 299 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Este trabalho investiga o processo de apreensão do princípio de conservação da energia mecânica por alunos em diferentes momentos da instrução formal. O trabalho é justificado pelos relatos existentes acerca da complexidade que envolve o conceito de energia, o princípio de conservação da energia, degradação e conversão relacionadas aos materiais didáticos, à sua estrutura epistemológica racional e, principalmente, à sua aprendizagem. Consideramos, para isso, duas dimensões que julgamos centrais para essa discussão: a primeira refere-se ao desenvolvimento histórico-epistemológico do conceito e, a segunda, ao seu desenvolvimento em nível individual ou cognitivo. Para a primeira dimensão resgatamos pontos-chaves do desenvolvimento histórico do princípio de conservação da energia, sua relação com a conservação da *vis viva* e os diferentes desenvolvimentos do teorema trabalho-energia, sendo um realizado por Lazare Carnot e, outro, por Lagrange. Consoante a isso apresentamos, orbitando à primeira dimensão, de que maneira o conceito de energia mecânica é tratado em alguns manuais de ensino universitário e uma síntese dos trabalhos voltados para o conceito de energia na área de Ensino de Ciências. Para a segunda dimensão pesquisamos os conhecimentos mobilizados por estudantes de diferentes níveis privilegiando duas metodologias: a primeira num estudo coletivo, que chamamos de preliminar e, outra, em nível do indivíduo, aprofundado. A intenção do estudo preliminar foi a de verificar e confirmar que alunos que se encontram em momentos mais avançados de ensino tendem a mobilizar e articular conceitos com maior pertinência do que aqueles que se encontram em momentos anteriores. Foram aplicados 158 questionários e analisados à luz de categorias existentes na literatura da área, possibilitando a aproximação com os dados relatados em pesquisas longitudinais. A partir dessa análise e da literatura, foi possível elencar 8 situações na perspectiva de aprofundarmos o entendimento de como ocorre, de maneira explícita ou implícita, o processo de aprendizagem de 6

sujeitos para os conceitos-chaves levantados durante a ação da resolução das situações com mediação do investigador. As mediações foram gravadas em vídeo e áudio e integralmente transcritas para análise. O referencial teórico adotado para a investigação da conceitualização é a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud. A análise das condutas dos sujeitos-em-ação nos permitiu inferir, por exemplo, que os sujeitos-em-ação reconhecem a conservação da energia mecânica e até mesmo, implicitamente, a expressão matemática do teorema trabalho-energia capaz de representar essa conservação na sua forma integral. Por outro lado, os dados analisados no estudo aprofundado sugerem que a dinâmica newtoniana parece atuar como obstáculo epistemológico para a aprendizagem da conservação da energia mecânica.

Palavras-chave: Aprendizagem de conceitos, energia mecânica, conservação de energia, Teoria dos Campos Conceituais, História das Ciências, Epistemologia dos conceitos.

ABSTRACT

CAMPOS, Alexandre. The conceptualization of the Principle of the Mechanic Energy Conservation: the learning process and the Conceptual Fields Theory. 2014. 299 p. Thesis (Ph.D.) – Post Graduate Program of Science Education. University of São Paulo, São Paulo, Brazil, 2014.

This work investigates the learning process of the conservation of mechanical energy by students in different levels of formal education. The work is justified by researches involving the concept of energy, the principle of the conservation and degradation of energy and transforming process related to the instructional materials. Furthermore, the complexity of rational epistemological structure of those concepts and its learning. In this case, two dimensions are considered as main points: the first one refers to the development of historical-epistemological concept and the second one to the individual cognitive development. For the first dimension, we accomplished the key points of the historical development of the principle of conservation of energy, its relation with the *vis viva* conservation and different developments of the work-energy theorem which were made by Lazare Carnot and other by Lagrange. According to that, we present the concept of the mechanical energy within some university books and a synthesis of works devoting the concept of the mechanical energy within the Science Learning studies. For the second dimension, we made a research about knowledge utilized by the pupils of different levels specializing in two methodologies: first about collective research called *pre-study* and the second one about individual research called *detailed study*. The aim of pre-study was to verify and confirm that high school and undergraduate students tends to mobilize and articulate concepts with better form in accordance with their level; those studies are called *cross-grade* or *longitudinal studies*. We applied and categorized 158 questionnaires which had been possible to approximate data related in longitudinal researches. After that, according to the literature, it was possible to organize 8 situations to carefully investigate how do the learning process occur, explicitly or implicitly, in 6 students about key concepts that have been appeared during the act of the resolution of the situations with mediation of the researcher. The mediations were recorded in video and audio and fully transcribed to our analysis. The framework adopted to investigate the

conceptualization was the Theory of Conceptual Fields developed by the French cognitivist Gérard Vergnaud. The conduct analyses of the *subjects action* allowed us to infer, for example, that students recognized the conservation of the mechanical energy during the action of the students and implicitly they recognized the mathematical function that express this conservation in integral form. Moreover, the data suggests that the Newtonian dynamics acts as epistemological obstacle to the learning of the conservation of the mechanical energy.

Keywords: Concepts Learning, Mechanical Energy, Conservation of the Energy, Theory of Conceptual Fields, History of Science, Epistemology of the Concepts.

Sumário

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 – ASPECTOS TEÓRICOS.....	20
1.1 Os Conceitos e o Conhecimento	20
1.1.1 O conceito na Filosofia	26
1.1.1.1 O Esquematismo de Kant	28
1.1.1.2 O Perfil Epistemológico de Bachelard.....	32
1.1.1.3 A Construção dos Conceitos Formais.....	33
1.1.2 Comentários acerca dos Conceitos na Filosofia e na História.....	39
1.2 O Conceito na Psicologia Cognitiva	41
1.2.1 A formação dos Conceitos Científicos segundo Vygotsky.....	41
1.2.2 A Teoria dos Campos Conceituais	45
1.2.2.1 Homomorfismos, representação do Real e relação Significado-Significante.	47
1.2.2.2 Relação entre a Realidade e os Invariantes Operatórios	51
1.2.2.3 Relação entre Invariantes Operatórios e Significados	52
1.2.2.4 Relação entre Significados e Significantes	53
1.2.2.5 A noção de Esquema.....	54
1.2.2.5.1 A noção de Esquema em Kant e Piaget.....	54
1.2.2.5.2 A definição de Esquema para Vergnaud.....	55
1.3 O Conceito de Energia Mecânica nos Manuais de Ensino Universitário	57
1.3.1 Definição de Energia.....	58
1.3.2 Modalidades de Energia.....	60
1.3.2.1 Energia Cinética.....	61
1.3.2.2 Energia Potencial Gravitacional	62
1.3.2.3 Trabalho.....	63
1.3.2.4 A Conservação da Energia Mecânica	67
1.3.2.5 Conservação do Momento, Impulso e Colisões	69
1.3.3 Comentários	72
1.4 O Conceito da Energia na História da Ciência	76
1.4.1 O Princípio de Conservação da Energia.....	76
1.4.1.1 Lazare Carnot e o Conceito de Trabalho.....	77
1.4.1.2 Equação Geral da Dinâmica e o Conceito de Trabalho em Lagrange	80
1.4.1.3 Os processos de conversão e a busca pela equivalência entre Trabalho Mecânico e Calor.....	83

1.4.2	Considerações	86
1.4.2.1	Construção do Conceito de Trabalho.....	87
1.5	O Conceito de Energia e o Ensino de Física	90
1.5.1	Exposição sucinta da literatura.....	90
1.5.1.1	As Concepções Espontâneas do Conceito da Energia.....	91
1.5.1.2	A Mediação do Professor e da Linguagem e o Conceito da Energia ..	93
1.5.1.3	Os Materiais Instrucionais e o Conceito de Energia	95
1.5.1.4	As Pesquisas Longitudinais	100
1.5.2	Comentários	101
Capítulo 2 – Aspectos Metodológicos.....		105
2.1	Metodologia utilizada no Estudo Preliminar	107
2.1.1	Caracterização dos espaços de formação no Nível Médio e no Nível Universitário.....	107
2.1.1.1	Colégio Parthenon.....	107
2.1.1.2	Caracterização dos Cursos de Graduação em Física da USP	108
2.1.2	Questões propostas	109
2.1.3	Método de análise dos dados.....	112
2.1.3.1	Categorias de Operacionalização Conceitual	113
2.2	Metodologia utilizada no Estudo Aprofundado	114
2.2.1	Sujeitos investigados	124
Capítulo 3 – Aspectos Empíricos.....		128
3.1	Estudo preliminar.....	128
3.1.1	Resultados e interpretações	128
3.1.1.1	Definições: Energia e Colisão Elástica	128
3.1.1.1.1	Gráficos.....	132
3.1.1.1.2	Comentários	134
3.1.1.2	Conservação e Degradação da Energia.....	137
3.1.1.2.1	Gráficos.....	143
3.1.1.2.2	Comentários	145
3.1.1.3	Reconhecimento dos Significantes e Significados.....	147
3.1.1.3.1	Gráficos.....	149
3.1.1.3.2	Comentários	151
3.1.2	Comentários finais.....	151
3.2	Estudo Aprofundado	153

3.2.1	Análise e discussão das entrevistas.....	155
3.2.1.1	O Caso Güenther.....	155
3.2.1.1.1	Invariantes Operatórios utilizados no conjunto das Situações apresentadas.....	168
3.2.1.1.2	Conceitos não mobilizados	170
3.2.1.1.3	Organização das condutas	170
3.2.1.1.4	Controle sobre os aspectos do real	171
3.2.1.2	O Caso Geraldo	173
3.2.1.2.1	Invariantes operatórios utilizados no conjunto das situações apresentadas.....	183
3.2.1.2.2	Conceitos não mobilizados	185
3.2.1.2.3	Organização das condutas	185
3.2.1.2.4	Controle sobre aspectos do real	186
3.2.1.3	O Caso Carolina	187
3.2.1.3.1	Invariantes operatórios utilizados no conjunto das situações apresentadas.....	199
3.2.1.3.2	Conceitos não mobilizados	201
3.2.1.3.3	Organização das condutas	201
3.2.1.3.4	Controle sobre os aspectos do real	202
3.2.1.4	O Caso Luíz Antonio	204
3.2.1.4.1	Invariantes operatórios utilizados no conjunto das situações apresentadas.....	217
3.2.1.4.2	Conceitos não mobilizados	219
3.2.1.4.3	Organização das condutas	219
3.2.1.4.4	Controle sobre os aspectos do real	220
3.2.1.5	O Caso Sálvio	221
3.2.1.5.1	Invariantes operatórios utilizados no conjunto das situações apresentadas.....	234
3.2.1.5.2	Conceitos não mobilizados	235
3.2.1.5.3	Organização das condutas	236
3.2.1.5.4	Controle sobre os aspectos do real	237
3.2.1.6	O Caso Renata	238
3.2.1.6.1	Invariantes operatórios utilizados no conjunto das situações apresentadas.....	248
3.2.1.6.2	Conceitos não mobilizados	250
3.2.1.6.3	Organização das condutas	250

3.2.1.6.4	Controle sobre os aspectos do real	251
3.2.2	Invariantes comuns a todos os estudantes	251
3.2.3	Presença de significado físico	254
3.2.4	Interpretação dos resultados	254
3.2.4.1	Análise do Estudo Preliminar.....	255
3.2.4.2	Estudo Longitudinal.....	259
Conclusões		262
BIBLIOGRAFIA		272
ANEXOS		281
Anexo A – Respostas do Estudo Preliminar (completo)		282
Anexo B – Transcrições das Entrevistas (íntegra).....		418

INTRODUÇÃO

O interesse pela aprendizagem dos conceitos científicos não é recente. Como objeto de estudo da psicologia cognitiva, sua investigação vêm de uma tradição de, pelo menos, um século. Tendo psicólogos da cognição do porte de Piaget (1896-1980) como referência, é Vygotsky (1896-1934), em *Pensamento e Linguagem* (1995), quem chama atenção para a necessária distinção nas investigações entre conceitos espontâneos e conceitos não espontâneos. Fariam parte dos conceitos espontâneos aqueles apreendidos diariamente, como produto da interação do sujeito com o meio no qual se encontra; enquanto que os não espontâneos seriam aqueles ensinados nos espaços dedicados ao ensino formal.

Haveria, então, na psicologia cognitiva do início do século XX, duas possibilidades de respostas para explicar o desenvolvimento dos conceitos científicos na mente das crianças. A primeira delas considerava que os conhecimentos científicos seriam absorvidos já prontos, sem nenhuma história interna e, portanto, não passariam por nenhum processo de desenvolvimento; enquanto a segunda resposta não negaria a existência do processo desenvolvimento interno. Tanto a primeira, quanto a segunda tentativa seriam contrapostas por Vygotsky, principalmente por entender que a ausência de métodos de pesquisas eficientes dificultaria esse avanço.

Entre os contrapontos, elencados por Vygotsky, à primeira resposta estariam: 1) a ideia de que o aprendizado ocorre através da gradual tomada de consciência das crianças de conceitos através das palavras. Num primeiro momento, elas assimilam aquelas palavras mais simples; à medida que se desenvolvem intelectualmente, as generalizações anteriores expressas através das palavras são substituídas por outras mais avançadas. Esse processo, lento e gradual, seria responsável por tornar possível que a criança formasse conceitos verdadeiros; 2) a observação da própria experiência de que o ensino por este método é impossível e infrutífero, resultando num verbalismo oco que apenas simula um conhecimento, ocultado por um vazio (VYGOTSKY, 1995).

Para a segunda resposta, numa crítica mais direta à Piaget, seu principal contraponto era o de que a maioria dos investigadores valia-se de conceitos

cotidianos e fora do espaço escolar formal para, a partir daí, presumirem que o processo de assimilação dos conceitos científicos seria o mesmo que os conceitos cotidianos, sem a devida comprovação da distinção entre os dois tipos de conceitos.

Destaca-se que, em nenhum momento, Vygotsky parece menosprezar o trabalho de Piaget. Ao contrário, reconhece o avanço decorrente de tal esforço, com as ressalvas da distinção entre os dois tipos de conceitos e de que os conceitos não espontâneos, por serem ensinados num ambiente de instrução formal, seriam direcionados por adultos o que, para Vygotsky, reforçaria a necessidade de investigação independente.

Segundo Vygotsky, o processo de aprendizagem e formação dos conceitos seria único, influenciado tanto por condições internas, intrapsíquicas, quanto condições externas, intersíquicas, e que não haveria um conflito antagônico entre o desenvolvimento dos conceitos espontâneos e os não espontâneos. No entanto, lembra que os motivos de formação dos dois tipos de conceitos não são os mesmos, já que os conceitos não espontâneos apresentado às crianças na escola nem sempre podem ser vistos ou vivenciados diretamente, diferindo, portanto, na relação que se estabelece com as crianças.

Embora tais questionamentos não sejam recentes, o que se percebe hoje é que pouco se avançou no que se refere ao processo de apreensão dos conceitos científicos. Quanto à esse pouco avanço, pode-se citar, ao menos, três fatores: 1) o retardo da divulgação das obras de Vygotsky; 2) a ausência de bons métodos para a investigação; 3) pouco esforço, por parte dos investigadores da área de aprendizagem, para a compreensão da epistemologia dos conceitos científicos.

Isso não significa, por outro lado, que houve uma completa paralisia para a compreensão da aprendizagem dos conceitos não espontâneos. Destaca-se aqui o esforço pioneiro de grupos de pesquisas dedicados a investigar as concepções científicas espontâneas de sujeitos em diferentes momentos da instrução formal. Essa dedicação nos remete aos trabalhos de Driver (1973) e Viennot (1979) por tratarem, basicamente, da detecção de concepções

alternativas. Como uma de suas contribuições, citamos o *mapeamento* das ideias que os alunos possuem acerca dos conceitos científicos.

Outro ponto levantado pelas pesquisas realizadas por Driver e Viennot, foi a verificação da persistência dos conhecimentos científicos espontâneos às novas aprendizagens. Assim, uma das preocupações dos pesquisadores interessados em ensino de ciências passou a ser o desenvolvimento de propostas cujo principal objetivo seria o de ‘atacar’ tais concepções, de modo a favorecer uma evolução do aprendizado conceitual. Inseridos neste contexto, Posner *et al* publicaram um artigo na *Science Education* de 1982 propondo o *Modelo de Mudança Conceitual*, cuja intenção estava centrada na possibilidade de se fazer avançar os conceitos prévios dos alunos para aqueles ditos científicos.

Se sua simplicidade e abrangência foram as principais razões pelas quais o *Modelo* tenha sido elogiado, de início, acabaram se tornando pontos frágeis num momento posterior. A não linearidade de sua construção conceitual durante o processo de aprendizagem, por envolver muitas idas e vindas (STRIKE, POSNER apud ARRUDA, VILLANI, 1994) e a desconsideração do conhecimento físico/científico como uma estrutura conceitual abstrata (KOPONEN, PEHKONEN, 2010) também se situam entre as várias críticas referidas ao *Modelo*. O que se apresenta, atualmente, é a tentativa de manutenção do *Modelo* por parte de alguns pesquisadores (TREAGUST e DUIT, 2008), enquanto outros demonstraram algum ceticismo (OHLSSON, 2009a, 2009b), já que as estruturas epistemológicas e de articulação que balizam o *Modelo* permanecem praticamente as mesmas de quando foi proposto no artigo original de 1982. Talvez, a melhor contribuição que o *Modelo* forneceu não se encontra em suas limitações, críticas e reformulações, mas nas questões que deixou em aberto.

Nesse meio tempo, nas quais foram desenvolvidas pesquisas sobre o *Modelo de Mudança Conceitual* e mapeadas as concepções espontâneas, investigações acerca das dificuldades de aprendizagem dos conceitos científicos foram se acumulando na literatura. Entre os vários conceitos

científicos pesquisados encontra-se aquele que remete ao quadro conceitual do princípio da conservação da energia.

O problema do Princípio de Conservação da Energia no Ensino de Ciências

O conceito de energia possui grande relevância para a área de Ensino de Ciências. Tal importância pode ser percebida, por exemplo, pela recorrência e volume de trabalhos publicados sobre o tema. Entre os interesses tratados nos trabalhos, destacamos aquele dado ao princípio da conservação nos manuais de ensino (JACQUES e ALVES FILHO, 2008; SOLBES, GUIASOLA e TARÍN, 2009; AMETLLER e PINTÓ, 2002), às pesquisas que discutem aspectos inerentes à sua natureza conceitual (SHERWOOD e BERNARD, 1984; MARTINS, 1989; ARONS, 1999) e aqueles que tratam das dificuldades de aprendizagem do próprio quadro conceitual do princípio da conservação de energia (OKTAY e TATAR, 2007; BARBOSA e BORGES, 2006).

Cada uma dessas três linhas de investigação tem implicações, diretas ou indiretas, na aprendizagem dos alunos. Porém, se o que se deseja é compreender de que forma ocorre o desenvolvimento do quadro conceitual do princípio de conservação de energia, deve-se verificar de que forma os trabalhos nessa linha se colocam. Nesse sentido, autores como Lee e Liu (2010), Saglam-Arslam (2010) investigaram o aprendizado de alunos em diferentes momentos da instrução formal em estudos tratados pela área como longitudinais ou *cross-grade*; enquanto Lee e Liu (2010) investigaram a compreensão do conceito de energia, sua conservação e degradação em sujeitos matriculados no ensino fundamental de cinco Estados americanos, Saglam-Arslam (2010) voltou-se para a compreensão do conceito de energia mecânica, nas formas potencial e cinética, para alunos do ensino médio, para alunos do nível universitário na modalidade licenciatura em física e alunos em nível de pós-graduação em escolas da Turquia. Percebeu-se que os resultados das duas pesquisas indicaram uma melhora na mobilização e na articulação do conceito de energia, do princípio de conservação e degradação em conformidade com o momento da instrução do sujeito sendo que, por outro

lado, percebe-se a presença de concepções espontâneas nas respostas dos alunos em todos os níveis da instrução formal.

Se, por um lado, há aqueles que relatam seus esforços e percepções em investigar a aprendizagem desse quadro conceitual; há, por outro, aqueles que chamam atenção para sua abstração. Autores como Jewett Jr. (2008a, 2008b, 2008c, 2008d), em quatro artigos publicados em *The Physics Teacher*, chama atenção para quatro conceitos chave que costumam aparecer de forma confusa tanto nas pesquisas sobre aprendizado quanto nos manuais de ensino: i) a definição de trabalho; ii) a definição de sistema; iii) o uso da linguagem e; iv) a ausência de uma abordagem integradora/global, que articule os conceitos.

Weil-Barais (1994) ressalta a abrangência do conceito de energia e sua capacidade de articulação conceitual, por se tratar de um conceito relacional. Para Bunge (2000) se trata, na verdade, de um conceito que está no limite da física e da metafísica. Papadouris (2011), Coelho (2009) e Valente (1999) associam tal caráter, que é, ao mesmo tempo, unificador e abstrato, ao seu desenvolvimento histórico de forma confusa e fragmentada.

Diante desse duplo contexto, o da dificuldade de aprendizagem e o da natureza abstrata do próprio conceito de energia e seu princípio de conservação, se o que se deseja é investigar o desenvolvimento de aspectos do quadro conceitual que envolve o princípio de conservação da energia durante a instrução formal, é necessário que se compreenda, de antemão, o que é, afinal, um conceito científico e o que se quer dizer com “desenvolvimento histórico confuso e fragmentado”.

O problema da noção do Conceito na Filosofia

O interesse pelo conhecimento e, em geral, pelos conceitos, remonta a um problema da antiga filosofia grega. Para os filósofos antigos, o termo utilizado para referirem-se aos conceitos era *logos*, com significação mais ampla, abrangendo também as ideias de noção e definição. Dessa forma, a discussão que envolve o entendimento do conceito inicia-se na filosofia e não na psicologia. Para Abbagnano (2007, p. 164), essa antiga discussão dá origem a duas questões na filosofia: uma tão antiga quanto o interesse pelos

conceitos, sobre o que seja o conceito e sua natureza e; outra, sobre sua função, ou seja, sua utilidade.

De acordo com Aristóteles (394-382 a.C.), a primeira questão poderia ser tratada em dois sentidos. Num deles seria privilegiada a sensação; noutro, o pensamento. Vestígios dessa definição permaneceram durante a Idade Média e, na modernidade, filósofos como Descartes (1596-1650), Leibniz (1646-1716) e seguidores tomaram para si as discussões acerca do problema dos conceitos, com algum afastamento das definições antigas, mas sempre no limite das indefinições entre razão e percepção.

Kant (1724-1804), em *Crítica da Razão Pura*, resgata, então, as duas possibilidades, a partir das definições aristotélicas, acomodando-as numa nova roupagem. Desenvolve as noções de juízo, síntese e esquematismo. Contudo, o esforço kantiano é alvo de críticas por parte daqueles que se embrenharam, posteriormente, nessa discussão. Entre seus críticos podemos citar Hegel (1770-1831) e Frege (1848-1925) que deslocariam a discussão kantiana para uma filosofia do simbolismo, que acabaria por influenciar Wittgenstein (1889-1951). Dentre as principais críticas à Kant estariam aquelas acerca da dupla condição lógica e epistemológica na sua tentativa de “psicologização” do conceito.

No que diz respeito ao segundo problema do conceito como função, pode-se destacar seu caráter de: 1) descrever os objetos; 2) classificá-los; 3) organizá-los e; 4) prever eventos. Embora os dois problemas do conceito, quanto à sua natureza e quanto à sua função, possam coincidir, eles não coincidem necessariamente (ABBAGNANO, 2007, p. 164).

Ainda que o problema do conceito persista na filosofia, não é todo conceito, nem toda discussão filosófica que nos interessa. Nosso interesse é restrito apenas aos conceitos científicos e sua apreensão durante a instrução formal. Afinal, qual é a natureza do conceito científico? E sua função? Que papel desempenha a linguagem na sua construção? Qual é o papel do referente? Quais são as relações estabelecidas entre os diversos conceitos científicos? Eles possuem um mesmo perfil epistemológico? De que forma ocorre a apreensão do conceito científico? Sendo o conceito científico que nos

interessa, temos que tentar dissecá-lo, de modo a trilhar um caminho com a possibilidade de vislumbrar com maior atenção suas diferentes perspectivas.

Para esse olhar, mais cuidadoso, com vistas aos conceitos científicos, retomaremos alguns aspectos acerca das reflexões de Bachelard (1884-1962) e Granger (1920-). Do primeiro, interessa-nos suas ideias de perfil epistemológico; do segundo, a construção dos conceitos formais. Essas considerações nos serão úteis no sentido de demonstrarmos as possíveis perspectivas nas quais os conceitos científicos podem ser compreendidos na História das Ciências e no Ensino de Ciências.

Diante desse novo cenário, pode-se agora, à luz das possibilidades que a filosofia nos empresta, analisar com mais cuidado: 1) quais aspectos estiveram presentes durante o desenvolvimento histórico do conceito de energia e seu princípio de conservação; 2) qual (ou quais) são as perspectivas deste quadro que estão presentes nas discussões relativas ao seu ensino e aprendizagem.

O problema do Princípio de Conservação da Energia na História das Ciências

A gênese do princípio de conservação da energia, num sentido mais amplo, é comumente confundida como continuidade daquela que pode ser chamada de conservação da *vis viva*. A partir dessa falsa crença é que se encaixariam as demais conservações como consequência dos diversos processos de conversão conhecidos entre o final do século XVIII e começo do século XIX, culminando, posteriormente, com o princípio da conservação da energia e, por consequência, da conservação da energia mecânica.

Embora pareça se tratar de uma confusão ingênua, o contexto de desenvolvimento histórico é tão cheio de “peças soltas”, que torna o seu entendimento comprometido. A começar pela própria *vis viva* que era tratada, ainda no início do século XX, em alguns manuais de ensino ainda por seu nome original e não por energia cinética. O contexto de seu desenvolvimento deu lugar a uma longa tradição sobre a continuidade de movimento, com alguma influência das causas da física aristotélica (CAMPOS e RICARDO,

2012) e das teorias dos escolásticos da Universidade de Paris. No final do século XVIII, quase nada se sabia sobre o que viria ser a energia potencial.

Dessa observação surgem duas consequências imediatas. Uma delas diz respeito à construção do teorema trabalho-energia primeiramente por Lazare Carnot (1753-1823) e, a outra, que talvez tenha sido o desenvolvimento deste teorema, possibilitou, mais tarde, a evolução do conceito de energia potencial e, conseqüentemente, a conservação de energia mecânica.

Outro contexto que favoreceu o desenvolvimento do princípio de conservação da energia foram os diversos processos de conversão conhecidos e/ou que foram sendo conhecidos até, mais ou menos, o final da década de 1810. Além dos diversos processos de conversão conhecidos, havia ainda a necessidade dos estudos do rendimento das máquinas; ou seja, a busca pela resposta à pergunta: com quanto combustível seria possível realizar quanto de trabalho? E, por último, as comprovações, quase sempre experimentais, de que havia uma equivalência quantitativa entre as conversões conhecidas. Foi nesse emaranhado de “peças soltas” que se desenvolveu o princípio de conservação de energia.

Por este motivo é de se imaginar que as considerações de Papadouris (2011), Coelho (2009) e Valente (1999), acerca da fragmentação e confusão do desenvolvimento do princípio de conservação de energia, sejam pertinentes. Ora, se o desenvolvimento histórico do conceito não parece totalmente claro nem para os historiadores da ciência, que tipo de ordem ou perspectiva conceitual se esperaria encontrar nos manuais de ensino? Qual tipo de abordagem se deveria levar a cabo durante o ensino deste quadro? Como ocorre a aprendizagem de um quadro conceitual tão confuso?

Numa retomada às pesquisas de ensino, é de se esperar que os alunos apresentem tantas distorções conceituais para o conceito de energia como as pesquisas sobre concepções espontâneas apontaram. Considerando tal confusão e fragmentação conceitual, cabe-nos eleger um recorte do princípio de conservação da energia para que possamos avançar nas discussões sobre a aprendizagem. Sendo assim, elegeremos apenas a conservação de energia mecânica, com especial atenção ao teorema trabalho-energia.

O Teorema Trabalho-Energia na aprendizagem de Ciências

O quadro conceitual no qual o teorema trabalho-energia está inserido pertence àquele que trata dos aspectos dinâmicos da conservação da energia mecânica. No entanto, a crença de que o princípio de conservação da energia, num sentido mais amplo, surge quase que como uma consequência natural da conservação da energia mecânica, carrega consigo a falsa crença da isonomia de significação dinâmica do teorema aplicado a forças não conservativas.

Foi L. Carnot, no final do século XVIII, que, motivado por interesses práticos, desenvolveu o teorema trabalho-energia. Seu objetivo era relacionar o esforço realizado por diferentes agentes movedores para aplicações no funcionamento das máquinas. Partindo de considerações práticas, consegue relacionar peso (força) e altura numa formulação que é justificada através de sua equivalência com a formulação da conservação da *vis viva* (já validada conceitualmente na época).

Por tratar-se de uma relação dinâmica voltada para fins práticos, prevalece o caráter de 'conceito-função' do teorema, já que não era de interesse de L. Carnot *filosofar* acerca de qual era a natureza do conceito desenvolvido. É exatamente esse vestígio de 'conceito-função' do teorema trabalho-energia que parece ter sobrevivido nos manuais de ensino. O esforço de entendimento da natureza do teorema parece inexistente nos manuais de ensino.

De acordo com esse aparente desinteresse, não é difícil perceber a presença da confusão para o ensino de física. É comum que se defina trabalho e energia como um sendo a causa para a existência do outro¹. Assim, manuais de ensino definem a energia de um sistema como sendo "uma medida de sua habilidade em realizar trabalho" (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 171) ao mesmo tempo em que o "trabalho total realizado sobre uma partícula é igual a variação da energia cinética da partícula" (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 172).

Como consequência dessa tautologia na definição do conceito de trabalho e do conceito de energia, pesquisas na área de ensino e

¹ Ou sem que se discutam suas limitações teóricas além da dinâmica.

aprendizagem desses dois conceitos relatam que respostas do tipo “energia é a capacidade de realizar trabalho” são frequentes quando se pede para alunos de diferentes níveis de instrução formal uma definição para o conceito de energia (SAGLAM-ARSLAM, 2010, p. 306; TATAR e OKTAY, 2007, p. 80)

Em contrapartida, há autores que, partindo desse mal entendido conceitual e suas implicações no ensino, propõem a introdução de materiais instrucionais diferenciados numa tentativa de minimizar tais distorções (PAPADOURIS e CONSTANTINOU, 2011; NORDINE, KRAJCIK e FORTUS, 2011). Uma das justificativas dos autores para esse desvio conceitual², seja nos materiais instrucionais tradicionais, seja no aprendizado, é a pseudo-relação existente entre trabalho e energia, num sentido mais amplo, diferenciando-a da relação dinâmica entre trabalho e energia mecânica (CONSTANTINOU e PAPADOURIS, 2013, p. 166, JEWETT JR., 2008a).

A questão de fundo aqui não é tão simples quanto pode parecer. Há um problema que remete à natureza do próprio conceito de energia e a forma como o teorema trabalho-energia é tratado no ensino. Uma primeira definição que é dada sobre trabalho é o produto da força aplicada num corpo pela distância. Ocorre que essa definição é tratada na dinâmica, e há forças que não são conservativas, como por exemplo, a força de atrito. No momento em que se utiliza a força de atrito para justificar uma dissipação de energia mecânica em forma de calor, o quadro conceitual energia mecânica, num sentido mais restrito, deve ser abandonado e o quadro conceitual princípio de conservação da energia, num sentido mais amplo, deve assumir as relações conceituais.

Com a introdução da força de atrito, as relações termodinâmicas entram em cena e a dissipação passa a ser explicada em termos de variação de Temperatura e energia interna. Por outro lado, a funcionalidade do teorema trabalho-energia continua válida. Ou seja, ao mesmo tempo em que a natureza do quadro conceitual da conservação da energia mecânica deixa de ser capaz de explicar situações com atrito, a natureza funcional do quadro conceitual teorema trabalho-energia continua sendo capaz de quantificar um resultado!

² Entre os livros didáticos e a pesquisa.

A questão da ‘necessidade prática’ na construção do conhecimento

Sendo o problema da aprendizagem do princípio de conservação da energia que nos interessa, pode-se imaginar que o problema a ser investigado está posto. Contudo, há outro problema de fundo: o problema da ‘necessidade prática’³.

É durante a apreensão conceitual por parte do sujeito que a ‘necessidade prática’ pode ser percebida. Ele toma a situação dada e opera sobre a questão, num movimento recorrente de erros e acertos de acordo com os conceitos que consegue mobilizar. Algumas vezes o sujeito se vale de conceitos pertinentes, outras, nem tanto; algumas vezes, ele manifesta ideias, ou pensamentos capazes de resolver os problemas, mas não consegue explicitar suas ideias, pois podem lhe faltar os signos linguísticos; algumas vezes ele parece manifestar ideias coerentes, numa manifestação superficial, desmascarada por um olhar mais atento.

Em contrapartida, tal dificuldade não é tão perceptível na construção do conhecimento na História das Ciências. Os símbolos e significados são compartilhados. Os usos e intenções são, quase sempre, conscientes. Embora haja momentos de indefinições, elas acabam por confluir para uma situação de estabilidade e unicidade. O domínio do objeto do conhecimento e do problema a ser resolvido ocorre noutro nível de investigação.

Entretanto, considerar que todo conceito emerge de uma ‘necessidade prática’ seria um equívoco, ao mesmo tempo em que nos colocaria numa posição de enfretamento ao que Bachelard chama de Perfil Epistemológico. No entanto, em algum momento, seja na História das Ciências, seja no Ensino de Ciências, esta ‘necessidade’ faz-se presente (MOREIRA, 2002, p. 24). Antes, devemos alertar que não é fácil perceber tal condição. Ela ocorre, muitas vezes, nos esconderijos da mente e não se manifesta claramente quando se explicita o conhecimento.

³ Chamaremos de ‘necessidade prática’ a situação que conduz o sujeito a pensar soluções e explicações para o problema enfrentado. Isso não significa dizer que todo conhecimento e, portanto, todo Conceito, seja edificado a partir de uma ‘necessidade prática’.

No nosso caso, esse pragmatismo na construção do conhecimento será evidenciado ao apresentarmos, em recorte do quadro conceitual conservação da energia mecânica, o desenvolvimento do teorema trabalho-energia, de L. Carnot, no domínio da História das Ciências, e durante a mobilização de conceitos por parte dos sujeitos em situação que fizeram parte da pesquisa. Reforçamos, a fim de evidenciar nossa posição, que nem toda construção conceitual decorre de uma ‘necessidade prática’. É nesse mesmo sentido que Vergnaud aponta ao afirmar que,

Nem todos os invariantes operatórios tem origem à partir dos conceitos pragmáticos, já que nem todos são formulados e adotados pela comunidade científica que os utiliza. Mas todos se formam ao longo da experiência, à qual fornece uma contribuição necessária ao desenvolvimento... (VERNAUD, 2007, p. 290)

Para isso, privilegiaremos o quadro conceitual envolvendo o teorema trabalho-energia, inserido no recorte do princípio de conservação de energia. A opção por tal escolha ocorre por dois motivos: a peculiaridade com a qual o teorema foi desenvolvido na História das Ciências e a subjetividade com a qual é tratada no Ensino de Ciências. O contexto, ou quadro, no qual o teorema se inscreve é o do princípio da conservação da energia, num sentido mais amplo, e o da conservação da energia mecânica, num sentido mais restrito.

Retomemos, então, os questionamentos de Vygotsky acerca da necessária investigação do desenvolvimento dos conceitos científicos na mente das crianças. Segundo Vygotsky, há distinção entre conceitos espontâneos e os dito não espontâneos (também chamados, por ele, de conceitos científicos ou verdadeiros). No que diz respeito à aprendizagem, os conceitos científicos não seriam construídos espontaneamente pelo sujeito, mas sim apresentados prontos a eles, durante os diversos momentos de sua instrução formal.

Haveria, então, duas possibilidades de resposta acerca dessa aprendizagem. A primeira defendia que tais conceitos seriam absorvidos prontos, não existindo nenhum tipo de interação entre os conceitos científicos e os não científicos. A segunda linha, a qual Vygotsky se aproxima, é que admitia a interação entre os dois tipos de conceitos. Contudo, os métodos de investigação adotados não privilegiariam as reais circunstâncias para tal aprendizado.

Foi a partir da década de 1970 que as investigações acerca da aprendizagem dos conceitos ganharam novo ânimo, com as pesquisas tratando das concepções espontâneas, tendo como uma de suas consequências, pouco depois, o desenvolvimento do *Modelo de Mudança Conceitual*. Com os trabalhos de Driver e Viennot, entre outros, mapeou-se os modelos conceituais utilizados por alunos de diversas idades, momentos de formação, gênero etc.

Entre os conceitos mapeados está o conceito de energia, seu princípio de conservação e todo quadro conceitual pertinente a ele. Tais pesquisas representaram um avanço ao apontarem os desvios no entendimento dos conceitos científicos por parte dos alunos. Percebeu-se que até mesmo alunos de pós-graduação recorriam às respostas do que se convencionou chamar de senso comum. Embora se reconheça a importância de tais pesquisas, elas tinham alcance limitado no que diz respeito ao processo de aprendizagem dos conceitos científicos durante os diferentes momentos da instrução formal.

Entretanto, lidar com conceitos científicos requer cuidados! É necessária uma vigilância das diferentes perspectivas que a filosofia nos permite perceber, seja com relação à sua natureza, função, construção formal, uso da linguagem, perfil epistemológico. Esse cuidado parece não ter sido tomado ao se tratar do *Modelo de Mudança Conceitual*, ou as questões centrais de pesquisa da época não permitiram ver esse hiato.

Objetivos Gerais

Como não cabe numa única tese investigar como ocorre a aprendizagem de conceitos, elegemos um recorte do campo conceitual princípio de conservação de energia para a investigação, a saber, a conservação da energia mecânica. A relevância dessa investigação para a área de Ensino de Ciências decorre do grande volume de trabalhos publicados tratando do princípio de conservação da energia e de sua degradação.

Apresentaremos uma visão geral do contexto histórico interno do desenvolvimento do princípio de conservação da energia. Nesse contexto, buscaremos deixar claro que já havia conhecimento, na ciência do início do

século XIX, de vários fenômenos de conversão e que o princípio da conservação da *vis viva* teve forte influência na validação de conceitos que, mais tarde, seriam reconhecidos como manifestações da conservação da energia mecânica e, por consequência, do princípio de conservação de energia.

Contudo, deve-se destacar que o caráter da ‘necessidade prática’ para o desenvolvimento do princípio de conservação de energia assume, aqui, forte influência motivado pelos interesses do contexto histórico externo, a saber, o rendimento das máquinas. Por outro lado, trabalhos teóricos como os de Lagrange, deslocam o desenvolvimento dos conceitos para um viés mais analítico, cuja construção racional não pode ser admitida no mesmo perfil epistemológico daqueles desenvolvidos através da prática dos engenheiros e técnicos interessados no rendimento das máquinas. Dessa forma, o quadro do desenvolvimento histórico da conservação da energia mecânica, insere-se num contexto mais amplo o qual, para uma pesquisa voltada para o Ensino de Ciências, deve ser considerado. Nesse sentido, os objetivos gerais dessa tese devem considerar tanto aspectos históricos, quanto aspectos epistemológicos do desenvolvimento interno do princípio de conservação da energia.

Se, por um lado há que considerar aspectos históricos e epistemológicos da conservação da energia; por outro, há que considerar de que forma esse conhecimento se apresenta nos principais manuais de ensino universitário. Sendo assim, a pergunta que se coloca é: como o princípio de conservação de energia e, em especial, da conservação da energia mecânica é tratado nos manuais de ensino universitário? Haveria algum tipo de perspectiva filosófica-epistemológica na abordagem desses conceitos pelos manuais de ensino universitário?

Para essa análise, tanto histórica quanto epistemológica da conservação de energia mecânica, inserida no contexto do princípio de conservação de energia, os objetivos dessa pesquisa são:

- Introduzir, de forma bastante breve, o problema do conceito na filosofia. Inserido nesse contexto, apresentar as ideias principais de Bachelard, no que diz respeito aos perfis epistemológicos, e de Granger, no que diz

respeito à construção dos conceitos formais. Chamaremos essa discussão filosófica-epistemológica de meta-discussão e nos auxiliará no entendimento do desenvolvimento histórico do princípio de conservação de energia e das perspectivas conceituais assumidas pelos manuais de ensino universitário;

- Revisar, de forma breve, as principais ideias de Vygotsky acerca da apreensão dos conceitos, apresentadas em *Pensamento e Linguagem*, diferenciando os conceitos espontâneos dos não espontâneos;
- Apresentar a Teoria dos Campos Conceituais, de Gérard Vergnaud, acerca da apreensão e desenvolvimento dos conceitos científicos por parte dos sujeitos. Essa teoria guiará nossa investigação no que se refere ao referencial teórico adotado. Deve-se destacar o papel dado por Vergnaud aos esquemas e aos homomorfismos;
- Apresentar o contexto do desenvolvimento histórico interno do princípio de conservação da energia, durante o século XIX, como confluência dos fenômenos de conversão conhecidos e do descobrimento empírico do equivalente mecânico do calor;
- Apresentar o desenvolvimento do teorema trabalho-energia por L. Carnot, no final do século XVIII, e por Lagrange no início do século XIX. Essa apresentação será analisada à luz da meta-discussão, diferenciando as perspectivas epistemológicas dos dois desenvolvimentos conceituais;
- Apresentar os conceitos-chaves, presentes nos manuais de ensino universitário, no que diz respeito à conservação de energia mecânica. Também utilizaremos aqui a meta-discussão dos conceitos de modo a facilitar a compreensão da perspectiva assumida pelos manuais de ensino e sua eventual aproximação, ou afastamento, das perspectivas desenvolvidas historicamente;
- Rever, sinteticamente, os trabalhos da área de Ensino de Ciências no que diz respeito às investigações acerca da conservação de energia mecânica, privilegiando aquelas voltadas para sua aprendizagem;
- Verificar e confirmar dados de pesquisas no que se refere às dificuldades de apreensão da conservação da energia mecânica e

possíveis diferenças na mobilização e articulação dos conceitos por alunos matriculados em diferentes momentos da instrução formal. Chamaremos essa verificação e confirmação, de estudo preliminar e um dos objetivos desse momento da investigação será a de guiar nossas intenções no estudo aprofundado.

Objetivos Específicos

Apontaremos para quais objetivos particulares aponta essa pesquisa, inseridos nos objetivos gerais apresentados. Resgataremos, por um lado, os trabalhos voltados para a aprendizagem de Saglam-Arslam (2010) e Lee-Liu (2010), no que diz respeito aos avanços de aprendizagem percebidos durante os diferentes momentos da instrução formal e; por outro lado, retomaremos as categorizações realizadas pelos estudos das concepções espontâneas científicas voltadas para o conceito de energia. As discussões levantadas nessas duas pesquisas servirão de pontos de partida para a pergunta que guiará nossa investigação central.

Se, por um lado, Saglam-Arslam (2010) e Lee e Liu (2010) tenham indícios do avanço da aprendizagem, num sentido longitudinal da instrução formal, e; por outro, as pesquisas sobre concepções científicas espontâneas indiquem ser possível categorizar as respostas dos alunos, os métodos de suas pesquisas privilegiam, unicamente, a aprendizagem como produto e não como processo. Seja com a introdução de diferentes materiais instrucionais, seja com questões aplicadas, seja comparando um grupo de controle e outro ao utilizar métodos didático-pedagógicos diferenciados, suas conclusões apontam para a aprendizagem do conceito científico como sendo aquilo que permaneceu após a instrução formal.

Porém, o que se percebe é que nada dizem acerca do processo, pelo qual os alunos mobilizam e articulam os conceitos durante a realização dos exercícios nas resoluções das atividades propostas. Parece-nos, ser essa uma lacuna a ser preenchida por investigação da área de Ensino de Ciências e, para a qual nossa pesquisa pretende levantar algumas evidências. Redimensionando, portanto, nesses termos, a questão central a ser respondida

nessa tese é: **Como ocorre o processo de explicitação do princípio de conservação da energia mecânica durante a instrução formal?**

Nosso referencial teórico é a Teoria dos Campos Conceituais, de Gérard Vergnaud. A escolha desse referencial deu-se pelo fato de permitir que se investiguem os sujeitos durante sua ação na resolução das atividades. Mais especificamente, na investigação da ação dos sujeitos durante a resolução de 8 situações-problemas. As situações foram pensadas de modo a privilegiar, conceitos que envolvam a conservação de energia mecânica, considerando as dificuldades de mobilização e articulação conceitual apontadas, seja na literatura da área, seja no nosso estudo preliminar.

A investigação ocorreu por meio da mediação do pesquisador com os sujeitos, em entrevistas registradas em áudio e vídeo que, posteriormente, foram transcritas integralmente e analisadas. A análise dos dados sugere, entre outros resultados, que, se por um lado os alunos, matriculados em qualquer nível da instrução formal, possuem dificuldades na mobilização e articulação acerca da natureza dos conceitos; por outro, há conceitos ensinados apenas no nível universitário e que poderiam ser deslocados para o ensino no nível médio.

Organização do trabalho

Buscamos organizar a tese considerando-se as diferentes discussões para seu desenvolvimento. Primeiramente, trataremos dos aspectos teóricos para, a seguir, tratar dos aspectos metodológicos e, por último, dos dados empíricos. Cada uma dessas grandes discussões foi associada a um grande capítulo, de modo que os capítulos estejam bem definidos com relação às intenções tratadas em cada um deles. Portanto, apresentaremos, nesse trabalho, apenas 3 capítulos de discussão, além dessa introdução e das discussões finais.

Apresentaremos no capítulo 1, os aspectos que julgamos serem de ordem teórica. Assim, estarão contidos nele, recortes das discussões do problema do conceito na filosofia e na psicologia cognitiva; do tratamento dado ao campo conceitual conservação de energia mecânica nos manuais de ensino

universitário – com ênfase no teorema trabalho-energia; do desenvolvimento histórico do princípio de conservação de energia – com ênfase no teorema trabalho – e, por último; a revisão da literatura.

O capítulo 2 apresentará a metodologia utilizada para os dois estudos empíricos investigados: o estudo preliminar e o estudo avançado. Para o estudo preliminar recorreremos à aplicação de 6 questões abertas durante o tempo cedido por professores em suas aulas, seja do ensino médio, seja no universitário, e, com base nas categorias presentes na literatura, e de uma adaptação do Modelo de Rasch, as categorizamos para análise. Essa análise, juntamente com a revisão da literatura, forneceu-nos elementos para avançarmos ao que chamamos de estudo aprofundado. Em confluência com o referencial adotado e nossa intenção inicial, privilegiamos como método de investigação colocar os sujeitos em situação, contando com dois momentos de explicitação: no primeiro deles, o sujeito tinha a possibilidade de mobilizar e articular abertamente os conceitos envolvidos nas situações apresentadas, com a mínima mediação possível por parte do pesquisador (cada questão contava com algumas considerações com o objetivo de situar o sujeito); o segundo momento contou com questões direcionadas a fim de explorar alguns conceitos que, porventura, deixassem de ser mobilizados. Para colocar os sujeitos em situação foram pensadas 8 questões, em correspondência direta dos apontamentos da análise realizada no estudo preliminar e na revisão bibliográfica.

O capítulo 3 apresentará os dados empíricos analisados e discutidos do estudo preliminar e do estudo aprofundado. É no estudo aprofundado onde se encontra a centralidade da tese. Lá ficará evidenciada o uso do referencial teórico (apresentado no capítulo 1 – A Teoria dos Campos Conceituais), a metodologia, as situações e os dados tabulados. A Teoria dos Campos Conceituais nos pareceu pertinente por permitir a investigação dos conceitos utilizados pelo sujeito durante sua ação na situação, ou seja, permite que se investiguem as diversas ações do sujeito, num sentido pragmático, ao situá-lo numa condição de resolução de tarefas ou exercícios. Por último, apresentaremos, nesse quadro, nossa análise dos dados obtidos, a partir dessa investigação aprofundada.

Por fim, apresentaremos a conclusão, na qual se percebe a interação entre os conceitos espontâneos e os científicos, confirmando a crença de Vygotsky. Além disso, nosso avanço será evidenciado, em relação às investigações do ‘mapeamento’ do senso comum, ao demonstrarmos que os invariantes operatórios mobilizados pelos sujeitos possuem um grau de correlação com os conceitos científicos escolares, mas que nem sempre são utilizados de maneira explícita ou consciente.

CAPÍTULO 1 – ASPECTOS TEÓRICOS

Esse capítulo apresentará os aspectos teóricos que balizarão as escolhas assumidas durante o estudo empírico acerca da conceitualização da conservação da energia mecânica, tratada no capítulo 3. Para isso, o capítulo possui 5 ordens de discussão: a primeira delas resgata algumas considerações acerca da importância do conceito para a filosofia e para a ciência; a segunda, retoma alguns pressupostos de Vygotsky, presente em *Pensamento e Linguagem*, para a investigação dos conceitos científicos durante a aprendizagem e a Teoria dos Campos Conceituais, de G. Vergnaud; a terceira ordem de discussão apresenta, em recorte, o quadro conservação de energia mecânica presente em alguns manuais de ensino universitário; a quarta ordem de discussão apresenta o desenvolvimento histórico do princípio de conservação de energia, evidenciando as diferenças do desenvolvimento do teorema trabalho-energia por L. Carnot e por Lagrange. E, a quinta ordem de discussão apresenta alguns trabalhos da área que tratam da conservação da energia mecânica.

1.1 Os Conceitos e o Conhecimento

É inegável a importância que os conceitos possuem para o desenvolvimento do conhecimento do indivíduo. Reconhecer elementos comuns e lhes atribuir significações ocorre desde a nossa mais tenra infância. Primeiramente, aprendemos aqueles conceitos básicos, quase que instintivos, como ‘mãe’, ‘papai’ ao nos dirigirmos aos nossos pais. Depois vêm outros como ‘auau’, ‘minhau’, ‘dodói’ para nos dirigirmos tanto a objetos externos quanto a sentidos ou sentimentos internos. Pouco a pouco ampliamos nossa malha conceitual influenciados pelo meio social e por necessidades egocêntricas.

Visto assim, pode-se afirmar que lidar com conceitos é o mesmo que lidar com palavras. Portanto, as palavras ‘papai’, ‘mãe’ ou ‘minhau’ remeteriam aos conceitos de pai, mãe e gato. Tal afirmação é, claramente, enganosa, pois funcionaria como se conceitos e palavras compartilhassem as mesmas definições. Embora conceitos e palavras tenham

seus significados, a definição de um conceito não é a mesma definição de uma palavra.

Aproximar conceitos e palavras exige que reflitamos sobre ambos. Em outros termos, que tomemos consciência das palavras que, geralmente, usamos sem pensar. Uma boa analogia seria o de explicar o gosto de uma refeição sofisticada. No fundo, sabemos o que nos agrada: o cheiro, a temperatura, a textura, a combinação dos temperos, o paladar,... Mas, quando se pergunta o que torna tal prato tão especial percebemos que somos incapazes de dar significado preciso àquela nossa experiência. Isso não significa que não tenhamos o conceito daquilo que nossos sentidos nos apresentam, mas que não há uma palavra específica, ou um conjunto delas, que dê significado às nossas sensações.

A essa ausência de significados precisos John Wilson escreve: “É perfeitamente possível ter um conceito de algo sem ter palavra que o descreva – mesmo uma palavra inventada pela pessoa que tenha o conceito” (WILSON, 2005, p. 54-55). Se, por um lado, há conceitos sem que se tenha uma palavra ou termo que os definam precisamente; por outro, há palavras ou termos sem que haja um conceito definido. Assim, mesmo que seja enganoso afirmar que conceitos e palavras compartilham das mesmas definições pode-se dizer que estão intimamente vinculados.

Se em nível individual há essa dificuldade em se perceber a distinção entre conceitos e palavras; em nível de desenvolvimento coletivo, mais estruturado, tal dificuldade tende a ser reduzida. Um bom exemplo é a ciência, mais preocupados do que atribuir significações aos novos conceitos, o desenvolvimento do conhecimento na ciência vale-se deles com mais consciência. Tal desenvolvimento pode ser facilmente percebido nas diferentes disciplinas das ciências naturais (como é o caso da biologia, da física, da química, da geologia, da medicina etc) e das ciências sociais (como a psicologia, a sociologia, a economia, as disciplinas administrativas, dentre outras). Sendo uma das premissas das ciências a de reduzir as observações da natureza às leis gerais, os conceitos são usados ao aproximar as diversas leis e também seus conteúdos internos.

Embora os conceitos sejam mais consolidados ou nas disciplinas ou em seus conteúdos internos mais estabelecidos, num sentido mais paradigmático – como é o caso da física e muitas de suas subdivisões internas, da matemática e suas subdivisões etc – há que se destacar que, por vezes, em disciplinas ou em conteúdos não totalmente estabelecidos, com organização interna em latência, podem ocorrer confusões terminológicas motivadas pela ausência de definições claras acerca dos conceitos que adotam. Um exemplo de disciplina cuja estrutura terminológica interna está em latência é a arqueologia. A fim de nos fazermos claros, analisemos o esforço do professor Robert Dunnell, no livro *Classificação em Arqueologia*, para estabelecer alguma ordem nos termos utilizados pelos pesquisadores dessa área. Numa tentativa de chamar atenção para este aspecto, Dunnell coloca que:

Alguns termos são usados de maneira diversa por vários autores; outros termos diferentes têm aproximadamente o mesmo significado. Boa parte da confusão e da contradição reinantes da terminologia da ciência arqueológica provém dessa fonte. Um dado conceito só tem significado quando é específico. O significado de um termo é a sua definição, e não a sua aplicação, e sem uma definição um termo não significa nada e não pode servir como um meio efetivo de comunicação. A ignorância disso tem sido responsável pelo estado de confusão existente nos termos e na literatura da disciplina (DUNNELL, 2007, p. 21).

A confusão aqui parece estar colocada no nível da palavra ou na ausência da definição de qual seja sua significação terminológica. Ele prossegue,

Segue-se que, apesar de merecer atenção especial, existe uma ausência geral de distinção entre a terminologia e os referentes da terminologia. Há uma forte tendência a reificar conceitos, a encarar uma ideia ou uma palavra como sendo a mesma coisa que seu referente. Analogamente, as ideias não são distinguidas dos fenômenos observáveis (DUNNELL, 2007, p. 21).

A arqueologia é colocada, assim, diante da seguinte realidade: mesmos termos parecem ser utilizados sem distinção clara e precisa e, portanto, de maneira diversa; termos próximos são usados com o mesmo significado. Parece-nos que, nesta disciplina em particular, a falta de definição terminológica faz com que palavras e conceitos se confundam.

Além disso, Dunnell nos chama atenção para outro ponto até então não discutido: o uso das palavras ou ideias “como sendo a mesma coisa que seu referente” (DUNNELL, 2007, p. 21) para, a seguir, longamente argumentar no sentido de que a ciência se vale de ideias e de fenômenos. Segundo Dunnell, os fenômenos passariam por um processo de categorização no qual a maior parte de seus atributos seria desconsiderada. Assim, “há que se fazer uma distinção analítica entre o que pode ser observado (coisas e acontecimentos) e o que não pode (ideias). [...] Nestes termos, a ciência é um sistema de ideias utilizado para explicar os fenômenos” (DUNNELL, 2007, p. 47). A percepção de que ideias e fenômenos são distintos e operam em domínios distintos permitiria separar aquilo que se observa daquilo que se utiliza para registrar o observável.

Essa avaliação do que seja ideativo e do que seja fenomenológico também deve considerar o fato de que as ideias não são reais: uma ideia é inobservável, ao passo que os fenômenos podem ser observados, por fazerem parte do mundo real. Ao tratarmos de ideias pode-se falar em verdades lógicas e demonstrações, ao passo que não seria útil ou não faz sentido se falar em provas dos fenômenos. As ideias são construídas num sistema articulado que permitem que sejam controladas e previsíveis; os fenômenos não podem ser controlados ou antecipados *a priori* e para se afirmar algo sobre “sua previsibilidade” deve-se basear numa quantidade de eventos da mesma natureza, sendo muito difícil incorporar o que ainda não ocorreu. Um sistema de ideias é logicamente verdadeiro, ou seja, fechado, quando não há elementos internos contraditórios entre si; ao passo que, no limite, os fenômenos são probabilísticos (ancorados nas observações).

Segundo Dunnell, essa distinção não ocorre no mesmo nível em todas as disciplinas, sendo mais impactante nas ciências sociais que nas ciências exatas:

As ciências exatas não se preocupam muito com essa distinção neste nível. Os fenômenos que elas investigam estão em um nível radicalmente diferente do nível do investigador, e as possibilidades de confusão são mínimas. No caso das ciências sociais, porém, onde o investigador é parte dos fenômenos, a utilidade da distinção é muito maior (DUNNELL, 2007, p. 47).

Contudo, tanto numa quanto noutra área de conhecimento, há conexões entre o ideativo e o fenomenológico. Elas são variadas. A primeira conexão diz respeito às categorizações que ocorrem à partir daquilo que se observa nos fenômenos; a segunda, diz respeito à forma de explanação que assumem quando se trata só de ideias ou só de fenômenos e quando se trata da correspondência entre ideias e fenômenos.

É nesse ponto que, para Dunnell, situa-se a importância dos conceitos para a ciência. Os conceitos teriam, então, dois papéis principais:

O papel principal do conceito na investigação científica consiste precisamente em identificar as unidades de discussão. Em segundo lugar, os conceitos são empregados para discutir operações com dados e para discutir a teoria e o método nos quais as operações se baseiam (DUNNELL, 2007, p. 51-52).

Dessa forma, para Dunnell, o papel principal do que seja conceito consistiria em extrair dos fenômenos regularidades e os categorizar; noutro sentido, termos como evolução, utilizado na biologia, estariam situados como palavras para discutir as operações, a teoria e o método.

Os conceitos seriam, então, de dois tipos. Aqueles que ocorrem na linguagem coloquial e os forjados para uma disciplina específica. Esses dois tipos de conceitos não se encerrariam nos limites do meio social no qual seria utilizado, podendo ocorrer de alguma palavra ser tomada de um meio ao outro. Comumente, conceitos das disciplinas seriam tomadas de empréstimos em situações não-acadêmicas podendo afastar-se muito do significado original. Esse desvio seria minimizado nas ciências exatas, basicamente, por conta de sua linguagem e significados particulares consistindo “inteiramente em símbolos que não têm significado algum no vocabulário comum” (DUNNELL, 2007, p. 53).

Essa pequena incursão pela situação recente da arqueologia demonstra o quão difícil é estabelecer a ordem terminológica de uma disciplina ainda em formação. Por esse motivo, devemos reconhecer todo o esforço de Robert Dunnell nessa busca. Os pontos que levanta para discussão são centrais se se almeja tal estruturação e amadurecimento da arqueologia enquanto disciplina. Contudo, alguns desses pontos carecem de melhores definições ou

aprofundamentos como, por exemplo, sua definição do que seja conceito. Isso, de forma alguma desmerece seu trabalho, até porque a discussão central não é essa! Sua intenção era a de propor uma nova metodologia para a classificação em arqueologia e, por esse motivo, viu-se obrigado a delimitar alguns pontos para seu intento.

No entanto, não podemos deixar de comentar os limites colocados quando se arrisca em definir o que seja conceito. Embora reconheçamos a íntima relação entre conceitos e palavras, nossa compreensão é a de que não são redutíveis entre si. A função das palavras são estruturas lógicas que utilizamos capazes de dar sentido a algo que idealizamos ou sentimos que pode, ou não, relacionar-se às nossas experiências internas. conceitos nem sempre são utilizados neste mesmo sentido.

Ainda assim, somos incapazes de definir o que é um e o que é, de fato, outro. Podemos ter uma breve ideia de qual é a função de cada um deles, palavras e conceitos, mas não saberíamos afirmar qual (ou quais?) seria a natureza de cada um deles no que Dunnell chamou de sistema ideativo. O que é, de fato, uma palavra? E um conceito? Como são formados? Como se estruturam internamente? Em suma, o pouco que sabemos tem a ver com o uso de cada um deles, ou seja, sua funcionalidade. De certo modo, conceitos sem palavras seriam conceitos mudos e palavras sem conceitos seriam palavras burras.

Nesse sentido, devemos nos atentar para outros aspectos do que sejam os conceitos. O papel da linguagem na sua formação. Também temos que nos atentar ao papel do referente, como bem cita Dunnell. De que forma nosso intelecto atua para tomar aquilo do referente e o transformar em conceitos? Quais são os pontos que abstraímos do referente de modo a categorizarmos um conceito? Como são formados os conceitos científicos e como são formados os conceitos cotidianos?

Pode-se perguntar, agora, se teremos condições de responder a todas essas questões. O que nos propomos, nesse primeiro capítulo, é valer-nos do tratamento dado aos conceitos no nível de investigação presente na filosofia ao tratar de alguns dos aspectos do que seja conceito.

Para isso, apresentaremos um panorama bastante simplificado de alguns filósofos que discutem o que seja conceito, mais especificamente, os conceitos científicos. Esse panorama, ao qual chamaremos de meta-discussão, auxiliar-nos-á ao tratarmos dos conceitos formais nos capítulos seguintes⁴.

1.1.1 O conceito na Filosofia

Enquanto substantivo é a partir do final do século XVIII que o termo conceito passa a figurar no vocabulário filosófico. Esta aparição se dá em decorrência das críticas realizadas por Leibniz (1646-1716) contra Descartes (1596-1650), por conta do uso indiscriminado de termos como ‘ideia’ e ‘noção’⁵ (CAYGILL, 2000). A própria discussão cartesiana para tais termos, na verdade, remontaria outra discussão, muito antiga, sobre qual seria a natureza do saber e quais seriam suas fontes.

Na filosofia grega, a busca pelo saber e sua natureza era tarefa própria da razão e, portanto, do homem, enquanto animal racional. Com efeito, é através do termo *logos* que a filosofia grega designa os termos ‘conceito’, ‘noção’ e ‘razão’ (MORA, 2001; ABBAGNANO, 2007). Para os filósofos que precederam Aristóteles (384-322 a.C.), seriam as sensações que garantiriam a realidade das coisas ao subtraírem “a diversidade e a mudança de pontos de vista ou de opiniões” (ABBAGNANO, 2007, p. 164). Para Platão (427-347 a.C.), seria a mente humana a responsável por captar a estrutura fundamental que constitui as coisas.

Aristóteles tece críticas a seus predecessores por “suporem que o saber é sensação’ e procurarem o saber numa alteração física” (ARISTÓTELES apud CAYGILL, 2000, p. 162). Retomando, então, as concepções de Platão, Aristóteles descreve o conceito como algo imutável, não sendo suscetível nem à geração nem à corrupção. Após identificar a indistinção entre o ‘perceber’ – *noiesis* – e o ‘pensar’ – *aisthesis* – Aristóteles apresenta duas opções com a finalidade de relacioná-las e gerar um saber. A primeira delas seria derivar

⁴ Isso não significa que esse capítulo servirá de guia, mas nos ajudará na compreensão das diferentes abordagens dadas aos Conceitos, estejam elas presentes na construção histórica dos Conceitos, estejam elas nos materiais instrucionais ou nos trabalhos da área de ensino de ciências.

⁵ Embora Leibniz intervenha acerca da dependência de termos utilizados por Descartes ele próprio acaba por utilizá-los (CAYGILL, 2000).

noeta de *aistheta*, privilegiando a sensação – exploradas por atomistas como Demócrito; a segunda, derivar *aistheta* de *noeta*, privilegiando o pensamento – adotado por platônicos e neoplatônicos (CAYGILL, 2000). Um meio termo adicional foi desenvolvido pela escola epicurista ao sustentar que as imagens sensíveis seriam antecipadamente apreendidas pela mente.

Vestígios dessa derivação parecem ter tido continuidade em parte da Idade Média tendo influenciado a própria escolástica que,

do ponto de vista lógico e gnosiológico, nasceu e desenvolveu-se sob o signo do neoplatonismo agostiniano e do aristotelismo, [...], afirmando a realidade do conceito como elemento constitutivo ou essencial da própria realidade (ABBAGNANO, 2007, p. 165).

Essa posição pode ser percebida em São Tomás de Aquino (1225-1274) ao afirmar que,

como todo conhecimento é perfeito na medida em que há semelhança entre o conhecedor e o conhecido, é preciso que neste sentido haja semelhança da coisa sensível quanto aos seus acidentes, mas que no intelecto haja semelhança da coisa quanto à sua essência (SÃO TOMÁS de AQUINO apud ABBAGNANO, 2007, p. 165).

Ferrater Mora (2001) parece confirmar tal posição ao explicar a distinção do que seria o conceito formal e o conceito objetivo⁶ utilizado pelos escolásticos. O conceito formal seria o ente tal como expresso na mente e pela mente, e, o conceito objetivo, seria o ente a que corresponde a noção mental. “Assim, por exemplo, o triângulo como expresso pela mente é nela um conceito formal, e o mesmo triângulo como termo ao qual se refere o conceito é um conceito objetivo” (MORA, 2001, p. 320).

O debate em torno do que seriam dados sensoriais e do que seriam dados da razão estava longe de ser resolvido, não sofrendo grandes alterações até a filosofia moderna. Neste período, segundo Caygill,

o sujeito humano estava dividido em faculdade de sensibilidade e intelecto, e o problema de como dados sensoriais e ideias intelectuais foi resolvido ou no plano racionalista ao derivar sensibilidade de ideias, ou no plano empírico, derivando ideias da sensibilidade (CAYGILL, 2000, p. 63).

⁶ Nesse sentido, o autor chama atenção para o uso do termo Conceito utilizado pelos escolásticos. Assim, o uso desse termo expressaria algo parecido à noção.

Esse problema também seria pensado por Leibniz e seus seguidores, cuja definição de conceito seria, “*grosso modo*, como ‘qualquer representação de uma coisa’ e classificados de acordo com os seus graus de clareza, precisamente, completude e adequação” (CAYGILL, 2000, p. 63). Leibniz utilizou na representação tanto dados da razão quanto dados sensoriais, num contínuo, atribuindo-lhes o nome genérico de ‘conceitos’. Wolff (1679-1754), seguidor de Leibniz, por sua vez, “deu ao novo termo um toque racionalista adicional que provocou renovadas objeções empiristas” (CAYGILL, 2000, p. 63). Baumgarten (1714-1762), filósofo wolffiano, na década de 1730, tentaria “aclarar toda questão com o restabelecimento da antiga distinção entre *aisthesis* e *noiesis*” (CAYGILL, 2000, p. 63). Foi “inserido neste contexto de inconsistência terminológica que Kant desenvolve sua definição de ‘conceito’” (CAYGILL, 2000, p. 63).

1.1.1.1 O Esquematismo de Kant

No sentido em que a discussão está apresentada, acerca do saber e suas fontes, colocamo-nos frente a dois níveis de interpretação. Um deles privilegiaria o saber ao nível da sensação; outro privilegiaria o saber ao nível da razão. Esse problema chegaria até Kant que, em *A Crítica da Razão Pura*, apresenta sua versão acerca da natureza do saber. Para isso, elabora uma intrincada rede de definições que, por sua complexidade, não poderíamos tratar nesta tese.

Contudo, as implicações de suas ideias pode ajudar a melhor compreender este trabalho em pelo menos dois sentidos: 1) O primeiro deles diz respeito à perspectiva epistemológica na qual evoluíram as discussões sobre os conceitos; 2) A segunda, diz respeito à organização mental proposta por Kant, a fim de receber, processar e entender os conceitos, ou seja, sua origem, a mediação conceito-conceito e a mediação fenômeno-conceito.

Segundo Kant, só haveria duas formas possíveis de conhecer. Uma delas seria através da intuição; a outra, por conceitos. Enquanto as intuições se reportariam ao objeto da experiência; os conceitos se reportariam a qualquer representação desse objeto, sejam elas as intuições ou outros conceitos.

Os conceitos se relacionariam, então, com as intuições e, principalmente, com outros conceitos “como predicados de juízos possíveis com uma representação qualquer de um objeto ainda não determinado” (KANT, 2009, p. 65). Dito de outra forma, Kant chama de juízo o conhecimento indireto de um objeto e também a representação do objeto. Tomemos como exemplo a seguinte assertiva: *A energia é transferida*. Neste exemplo, o conceito de transferência também se reporta a outros conceitos, dentre os quais há uma lista contendo o conceito de energia.

Todavia, pode-se perguntar: Mas, qual seria então a origem dos conceitos para Kant? Através da síntese ou, grosso modo, através da imaginação, responderia Kant. A gênese dos conceitos não pode ser analítica. Síntese “é a operação de acrescentar várias representações umas às outras e de gerar a multiplicidade num conhecimento” (KANT, 2009, p. 69). Assim, seria gerado um primeiro conhecimento, ainda que grosseiro e confuso.

A síntese seria obra da imaginação, da qual raramente temos consciência e que, por isso, seria uma função cega, porém indispensável. Dessa forma, portanto, nasceriam tantos conceitos puros do entendimento, e também por isso os conceitos se relacionariam *a priori* com os objetos da intuição de acordo com as funções lógicas do entendimento. “Por meio dessas funções, o entendimento é totalmente esgotado, e sua faculdade, completamente medida” (KANT, 2009, p. 71).

Nesse ponto, Kant admite sua aproximação de intencionalidades com as de Aristóteles, reorganizando a tábua das 10 categorias⁷ em apenas 4, contendo 3 momentos cada que, ajustadas termo a termo, seriam capazes de explicar as origens da multiplicidade do conhecimento. As 4 categorias apresentadas e os respectivos momentos são:

1. Da quantidade: unidade, pluralidade e totalidade.
2. Da qualidade: realidade, negação e limitação.

⁷ É no tratado *Categorias* que Aristóteles dedica-se a postular e organizar a tábua dos 10 elementos da lógica, que, neste caso, nada tem de relação com os elementos presentes nas ciências teóricas. Pelo que parece não há indícios de trabalhos anteriores tratando desses elementos; o Filósofo não deixa claro nem de que modo nem de onde as obteve. Para melhor imersão nesse tema sugerimos consultar ARISTÓTELES (*Categorias*) e ROSS (*Aristóteles*) – ver bibliografia.

3. Da relação: de inerência e subsistência (*substantia et accedens*), da causalidade e dependência (causa e efeito), de reciprocidade (ação recíproca entre agente e paciente).
4. Da modalidade: possibilidade – impossibilidade, existência – inexistência, necessidade – contingência.

De acordo com as crenças kantianas, seria explicada, assim, a origem dos conhecimentos, através das categorias (síntese) que juntamente com as intuições formariam dois dos três termos necessários para explicar a gênese e a mediação entre os conhecimentos *a priori* (também chamados por Kant de puros) e os fenômenos. O terceiro termo deveria, portanto, ser capaz de mediar os conhecimentos entre eles. A esse termo, Kant chama de esquema transcendental.

Esquema transcendental seria, então, um terceiro termo, constituindo um tripé com as intuições e as categorias na formação do conhecimento. Por ser um termo mediador, apresentaria, portanto, um lado intelectual e outro sensível. Seria uma espécie de produto da imaginação ao usar imagens sem ser, ao mesmo tempo, imagem. À maneira como o entendimento se comportaria mediante tais esquemas, Kant atribui o nome de esquematismo. Esse esquematismo estaria “escondido nas profundidades da alma humana, o que dificultaria conhecer qual seria sua natureza e seu segredo” (KANT, 2009, p. 110-111).

Kant define, então, o esquema de um conceito como sendo “a representação de um processo geral da imaginação utilizada para dar uma imagem a um conceito” (KANT, 2009, p. 110). Assim, portanto, os conceitos sensíveis puros não teriam por fundamento imagens de objetos, mas esquemas. O exemplo utilizado por ele aqui é o de um triângulo enquanto imagem e enquanto esquema:

... Jamais uma imagem de um triângulo poderá adequar-se ao conceito de um triângulo em geral. Com efeito, não há imagem que possa atingir o conceito no geral, que possa fazer que tal conceito se aplique igualmente a todos os triângulos retângulos, ângulos e polígonos etc. E isso porque ela é sempre restrita a uma parte dessa esfera. O esquema do triângulo só existirá no pensamento, e significa uma norma da síntese da imaginação relativamente a algumas figuras puras (criadas pelo pensamento puro) no espaço (KANT, 2009, p. 110).

A noção de esquema seria, assim, a síntese operada em conformidade com uma regra de acordo com os conceitos em geral. “Os esquemas dos conceitos puros do entendimento são, portanto, as únicas e verdadeiras condições em que esses conceitos podem pôr-se em relação com objetos e dar-lhes, conseqüentemente, um significado” (KANT, 2009, p. 113).

Caygill chama atenção para esse aspecto da *Lógica Transcendental* na qual “uma descrição vê o conceito como função da unidade de juízo, enquanto a outra vê como uma *noeta* relacionada com uma *aestheta*” (CAYGILL, 2000, p. 64). Esse tratamento dual, a separação do conceito com relação ao objeto que lhe serve de referência, assim como outros aspectos, fomentariam críticas por parte de outros filósofos⁸.

Contudo, ao lidarmos com conceitos científicos temos que nos desvencilhar do viés *psicológico* kantiano do que seja conceito e voltar nossas atenções para o viés *lógico* ou *epistemológico* dos conceitos científicos. Isso nos coloca em condições de trazer duas discussões interessantes voltadas para a Filosofia da Ciência.

A primeira delas é a que trata dos diferentes níveis dos conceitos científicos, apresentada por Gaston Bachelard (1884-1962), através da noção do perfil epistemológico. A outra é a que trata da operacionalização dos conceitos científicos, apresentada pelo também filósofo francês Gilles-Gaston Granger (1920-). Enquanto a primeira chama atenção para os distintos níveis de conceitos científicos e que, portanto, não podem ser analisados através de

⁸ Entre seus críticos, localizam-se Hegel (1770-1831) e Frege (1848-1925) sendo que, esse último, influenciaria Wittgenstein (1889-1951) ao deslocar a discussão presente na *Lógica Transcendental* para o simbolismo. Segundo Inwood (1997), Hegel contesta, em três pontos principais, as distinções entre objeto e Conceitos presentes na *Lógica Transcendental*: 1) Os Conceitos não são nitidamente distintos do EU; 2) Os Conceitos não são nitidamente distintos dos objetos; 3) Os Conceitos não se distinguem nitidamente uns dos outros. Formam um sistema dialeticamente interligado que não pode ser adquirido por gradual abstração (INWOOD, 1997, p. 73). Outro filósofo alemão que veio a criticar a abordagem lógica-epistemológica da *Lógica Transcendental* foi Frege. Assim como outros críticos alemães, à exemplo de Hegel, insistiu na objetividade e simbolismo dos Conceitos como sendo independente da natureza psicológica do sujeito, à exemplo dos Conceitos matemáticos. Segundo Frege, “o Conceito é algo de objetivo, que não é construído por nós” (FREGE apud ABBAGNANO, 2007, p. 167). Portanto, a proposição, “o número 3 é um número primo é algo completamente independente da circunstância de estarmos acordados ou dormindo, de vivermos ou não, algo que vale e valerá objetivamente sempre, não importando se existem ou se existirão seres que reconheçam ou não essa verdade” (FREGE apud ABBAGNANO, 2007, p. 167).

uma única filosofia; o segundo distingue os conceitos científicos dos filosóficos compreendendo os primeiros como sendo formalizados.

1.1.1.2 O Perfil Epistemológico de Bachelard

É na obra *A Filosofia do Não* que Gaston Bachelard apresenta a noção de perfil epistemológico. O pano de fundo segundo o qual Bachelard situa a problemática é a evolução (ou a não evolução) da filosofia. Contudo, ao fazer essa afirmação, qualquer filósofo a receberia como um absurdo como, de fato, é ao comparar filósofos de períodos distintos como, por exemplo, um da modernidade e outro do medievo; ou um contemporâneo e outro moderno. Dessa forma, dizer que a filosofia cartesiana é mais evoluída que a agostiniana ou que a de Wittgenstein está à frente da de Leibniz seria uma afirmação inaceitável.

Para Bachelard, no entanto, tal tese deve ser repensada quando o objeto da filosofia passa a ser a ciência. Nesse aspecto, chama de filósofos venturosos aqueles que se valem de uma filosofia única para refletir a ciência quando, na verdade, diferentemente da filosofia, a evolução científica é inquestionável. A fim de justificar esta tese, utiliza como exemplo o conceito de massa, de modo a demonstrar que se trata de cinco diferentes perspectivas conceituais e que, portanto, nenhum sistema filosófico isolado é capaz de contemplar esta evolução conceitual e que, nesse sentido, poderia se pensar numa evolução do pensamento filosófico. A seguir, passa a se valer da maneira como o conceito de massa se apresenta em cada sentido, situando cada uma delas no que chama de perfil epistemológico.

O primeiro perfil diz respeito à concepção ingênua de massa, usada fora do contexto do rigor da ciência, muito embora possa ser utilizada em situações particulares com alguma consciência que seu uso esteja deslocado de um sentido aceito cientificamente, como ocorre quando um psicólogo utiliza o jargão 'massa ou carga afetiva'. O que chama atenção de Bachelard neste perfil é a rapidez e a facilidade com que tais jargões/termos são assimilados. O segundo ponto de vista para o conceito de massa diz respeito à massa como algo mensurável, no sentido daquilo que se mede na balança. Bachelard atribui a este perfil o nome de empirista. O terceiro ponto de vista é aquele associado

à força e aceleração que, desvinculando-se da ideia de quantidade de matéria, é chamado de perfil racionalista clássico da mecânica racional. O quarto perfil é chamado de racionalismo completo e desassocia a massa de conceitos absolutos (tais como espaço e tempo) e passa a variar numa condição dinâmica, como é o caso da massa relativística. O quinto perfil é o ultra-racionalismo ou racionalismo discursivo e se refere às duas massas de Dirac: uma delas reproduzindo todas as propriedades das quatro anteriores e, outra, uma massa negativa desvinculada de qualquer percepção sensorial.

Essa divisão em perfis epistemológicos não se aplicaria nem a todos os conceitos nem a todas as disciplinas⁹. A rigor, há alguns conceitos – como é o caso da Massa e da energia – que se enquadrariam nos cinco perfis enquanto outros não. Da mesma forma, há disciplinas mais maduras, do ponto de vista do perfil epistemológico dos conceitos em seu domínio de estudo – como é o caso da física –, e outras ainda nem tanto.

Embora não faltem exemplos, nos quais se destaque a importância das “quantidades” na ciência como objetos da observação, mensuração e análise, permeados de metodologias e cuidados matemáticos que permitem que se relacionem com outros conceitos e, eventualmente, produzam novos conhecimentos, o papel da linguagem na ciência, com seus signos e significantes, não é explorado por Bachelard – nem ao tratar de conceitos empíricos (claros e positivistas), nem ao tratar do racionalismo clássico.

A construção desses conceitos, do ponto de vista formal, é mais investigada por Gilles-Gaston Granger ao retomar as discussões acerca das diferenças do que seja conceito na filosofia e na ciência.

1.1.1.3 A Construção dos Conceitos Formais

Entender a forma como os conceitos são criados, sua evolução, como se estruturam internamente e a inter-relação conceitual interessam não só à ciência, mas também à filosofia, à psicologia, à linguística entre outras. O princípio operacional é próprio da ciência que, até certo ponto, depende disso para sobreviver. Portanto, há, na ciência, uma sequência na construção dos

⁹ Bachelard acredita que as contradições se colocam sempre no nível anterior, de forma que a noção anterior atua como um conceito-obstáculo.

conceitos que vai do registro direto do objeto vivido, a decomposição de suas partes e a utilização de propriedades operatórias realizadas com a construção de significantes.

Um dos pontos de análise de Granger é a relação entre o formal e o sensível na construção de significados na ciência, especialmente na matemática. Embora seu interesse primeiro seja o de discutir os conceitos filosóficos, que o acaba remetendo à discussão de meta-conceitos, é na análise da construção dos conceitos formais na ciência que ele se volta, a fim de compará-los com aqueles da filosofia.

Para Granger tais conceitos possuem objetos primeiros diferentes, ou seja, enquanto que para a ciência o objeto primeiro encontra-se na experiência sensível, o mesmo não ocorre na filosofia. Os conceitos científicos, muitas vezes, são empíricos enquanto que os conceitos filosóficos não. No entanto, em seus questionamentos, ele nos leva a perceber que nem todos os conceitos científicos provêm de uma percepção sensível imediata.

Na ciência, diferentemente do que ocorre na filosofia, o objeto primeiro é analisado e passa a ser representado através de signos que passam a ter propriedades dentro do domínio do qual se encontra o objeto que o originou. Esses signos são, muitas vezes, passíveis de operacionalização no qual o novo domínio pode nos apresentar novos conceitos e até mesmo novas realidades.

No entanto, para Granger, não é qualquer entidade que pode se constituir objeto de investigação matemática. Para ele “a posição de uma entidade como objeto exige que ao mesmo tempo funcione um *sistema de operações* (grifo do autor) cujas regras podem ser, ou não, explicitadas” (GRANGER, 1990, p. 152). Embora ele se volte à matemática, esta abstração e uso da linguagem também são comuns na ciência. Tomemos como exemplo dois casos¹⁰:

1. A química se apropria dos signos **H** e **O** para representar, respectivamente, os elementos **Hidrogênio** e **Oxigênio**. É sabido que

¹⁰ Adaptado a partir de São Paulo (Estado), 2011, p. 5.

há várias combinações possíveis desses dois elementos entre si e uma delas é aquela que representa a molécula de água, desde que devidamente operacionalizada. Uma representação seria:

Os signos são **H** que significa o elemento **Hidrogênio**, **O** que significa o elemento **Oxigênio** e **-** que significa **compartilhamento de elétrons**. A ação ou operação sobre os signos apresentados nos permite indicar uma molécula de água.

2. A física se apropria dos signos **s**, **s₀**, **v** e **t** para representar, respectivamente, os significados (observáveis) **posição**, **posição inicial**, **velocidade** e **tempo**. Uma possível combinação entre esses signos é:

$$s = s_0 + vt \quad (2)$$

Os signos são operacionalizados entre si e permitem indicar a posição de um corpo com o passar do tempo. Os signos **=** e **+** significam que a posição possui caráter de equivalência através da operação multiplicativa entre a velocidade e o tempo seguida da operação aditiva com o espaço inicial.

O que percebemos nos exemplos anteriores é a presença de um significado (elementos hidrogênio e oxigênio, 'ligação'; espaço, tempo, velocidade, adição, igualdade), signos cuja finalidade é o de representar tais significados (H, O, -; s, t, v, +, =), operações sobre os signos e operações sobre os significados. A figura abaixo generaliza as relações apresentadas:

Diagrama 1 – Representação das ações e operações sobre signos e significados.
(Fonte: SÃO PAULO (Estado), 2011, p.5.)

Nos casos tomados como exemplo têm-se a realidade primeira como objeto de análise e é a partir de seu significado que ocorre a representação através de signos. “O significado de um símbolo é parte de uma linguagem natural, de qualquer sistema de signos, ou um sistema formal, em relação à rigidez de seu sentido mais ou menos inserido a partir da característica de um elemento num sistema operacional” (GRANGER, 1994a, p.57-58). Esse sistema operacional obedece a regras da lógica e da matemática tornando possível deduzir novas propriedades. A essa relação significado-signo Granger trata como sendo dual por possuírem relação de correspondência entre o real e o abstrato. Essa dualidade significados-signos é própria da ciência que, através dos princípios operacionais adequadamente interpretados, pode nos trazer um ‘real’ escondido. Observemos o exemplo para o caso da queda livre (figura1):

Figura 1 – Corpo em queda livre nas proximidades da superfície terrestre

Nesse exemplo associamos os signos ***m***, ***v_i***, ***z_i***, ***h*** e ***g*** aos seus respectivos significados ***massa***, ***velocidade na posição i***, ***posição i***, ***diferença de altura entre z₀ e z₁*** e ***aceleração da gravidade*** além de estabelecermos um “acordo” para um sentido através do eixo z. A partir dessa dualidade signo-significado podemos pensar numa articulação operacional de modo a associar ***velocidades v_i*** às respectivas ***posições z_i***. Tal articulação de signos-significados pode ser expressa da seguinte maneira:

$$v_1^2 = v_0^2 + 2gh \quad (3)$$

onde

$$h = z_0 - z_1 \quad (4)$$

O exemplo acima representado no Diagrama 1 se apresentaria da seguinte forma:

Diagrama 2 – Representação da articulação operacional sobre os significados velocidade, aceleração da gravidade, posição, igualdade, adição e signos associados.

Desse exemplo podemos perceber que:

- Os significados estão no domínio do real imediato ou próximos a ele.

Embora tais significados estejam num domínio do “perceptível” e nos pareça bastante razoável, é produto de longos períodos na História da Ciência.

Agora, reescrevamos a expressão acima relacionando as velocidades associadas às suas respectivas alturas, considerando ***z₀ – z₁*** ao invés de ***h***:

$$v_1^2 = v_0^2 + 2g(z_0 - z_1) \quad (5)$$

$$v_1^2 + 2gz_1 = v_0^2 + 2gz_0 \quad (6)$$

$$\frac{1}{2}v_1^2 + gz_1 = \frac{1}{2}v_0^2 + gz_0 \quad (7)$$

Escrito dessa forma podemos perceber que a relação $\frac{1}{2}v_i^2 + gz_i$ é uma constante para quaisquer velocidades associadas à respectiva altura. Tal relação nos permite considerar que:

- Há uma propriedade escondida que associa velocidade e posição e que, devidamente articulada, possui valor constante;
- O significado dessa constante não está no mesmo domínio do real imediato dos significados apresentados no exemplo anterior.

O que percebemos, portanto, é que a operacionalização de signos nos permite identificar outras relações, como é o caso acima. Embora essa demonstração não exija demasiadas abstrações, tal identificação nem sempre é trivial. Dito de outra forma, o que se percebe é que o conceito associado à operacionalização dos signos pode ou não ser identificado através da manifestação direta no real imediato. A substância água e os movimentos estudados na física podem ser associados aos diversos signos apresentados acima de acordo com as seguintes operacionalizações: $H - O - H$; $s = s_0 + vt$; $v_1^2 = v_0^2 + 2g(z_0 - z_1)$. No entanto, ao (re) operacionalizarmos os mesmos signos da última expressão observamos o padrão $\frac{1}{2}v_1^2 + gz_1 = \frac{1}{2}v_0^2 + gz_0$ que não conseguimos abstrair diretamente a partir do real imediato. Por esse motivo é que “referindo-se a alguns conceitos racionalistas muitos autores têm criticado o trabalho na tradição empirista. Para os racionalistas, na verdade, um conceito é uma entidade mental desenvolvida para explicar a ação” (WEIL-BARAIS, 1994, p. 436) e que, por isso, são construções que participam das estruturas conceituais científicas. Para Granger:

O conhecimento científico do que depende da experiência consiste sempre em *construir esquemas ou modelos abstratos* dessa

experiência, em explorar por meio da lógica e das matemáticas, as relações entre os elementos abstratos desses modelos, para finalmente deduzir daí propriedades que correspondam, com uma precisão suficiente, a propriedades empíricas diretamente observáveis. (GRANGER, 1994b, p. 70-71)

No entanto, um conceito não se reduz apenas a sua operacionalização e relação com o real imediato, mas, também, como afirma Wittgenstein, demonstra sua robustez através dos ‘fios’ capazes de uni-los a outros conceitos. Nesse mesmo caminho Weil-Barais afirma que,

Os conceitos são apenas hipóteses que poderiam unificar as ideias ou fatos. Por exemplo, o conceito de energia em física é um conceito unificador para explicar um número de considerações que envolvem fenômenos de várias naturezas (mecânica, elétrica, calor, luz etc). A energia possui o mesmo significado em relação a outras grandezas físicas e, neste sentido, é um conceito relacional. Tais conceitos não podem ser estudados de forma isolada com relação aos objetos e isto torna sua aprendizagem muito difícil. (WEIL-BARAIS, 1994, p. 437)

Por este motivo a aprendizagem isolada de conceitos em função de sua natureza não é fácil. Numa primeira reflexão podemos verificar duas características associadas à formação dos conceitos na ciência que dificultam sua aprendizagem. A primeira delas é seu distanciamento do real imediato e, a segunda, é sua capacidade de se relacionar com outros conceitos.

1.1.2 Comentários acerca dos Conceitos na Filosofia e na História

A noção do conceito remonta a uma discussão antiga que, como chamamos atenção, têm como pano de fundo compreender o que seja e como se dá o conhecimento.

Na medida em que as discussões avançam originam-se dois problemas fundamentais: um deles sobre a natureza dos conceitos e outro sobre sua função¹¹ (ABBAGNANO, 2007, p. 164). O problema da natureza recebeu duas

¹¹ “O problema da função do Conceito: A função do Conceito pode ser concebida de duas maneiras fundamentais diferentes, isto é, como final e como instrumental. [...]. Os aspectos principais são os seguintes: b1) A primeira função atribuída aos Conceitos é a de descrever os objetos da experiência para permitir o seu reconhecimento. Era essa a função principal que epicuristas e estoicos atribuíam às antecipações (ou proleps). b2) A segunda função atribuída ao Conceito é a econômica. A essa função vincula-se o caráter classificador do Conceito. “A variedade das reações biologicamente importantes”, disse E. Mach, “é muito menos do que a variedade dos objetos existentes. Por isso, o homem foi levado a classificar os fatos nos Conceitos. [...]. Sob esse aspecto, os Conceitos são “signos que resumem e indicam reações possíveis do organismo humano em face dos fatos” (Mechanik, 1883, p. 510). É esse o caráter enfatizado por alguns filósofos para negar o caráter teórico dos Conceitos científicos em prol de

soluções fundamentais: a primeira, no sentido de que seja a essência das coisas; a segunda que seja signo. O problema da função pode ser entendido de quatro maneiras diferentes: a primeira no sentido de descrever os objetos podendo estar vinculada à sua própria essência; a segunda, num sentido de generalização ou econômica, a fim de definir elementos comuns de acordo com aquilo que é aparente; a terceira, como organizador dos dados estabelecendo relações entre conceitos, o que possibilitaria a inferência; a quarta, no sentido de antever, prever ou antecipar experiências futuras à luz do passado.

Essas considerações nos serão úteis nos capítulos seguintes ao discutirmos que esse problema passa despercebido na área de ensino, especificamente em ensino de ciências, remetendo a uma preocupação mais voltada ao sentido de sua natureza quando é tratada nas publicações da área e mais voltada ao caráter técnico, como função, quando é tratado pelos manuais. Isso não significa que essas soluções sejam mutuamente excludentes, nem num domínio do saber nem noutro, como tratado, por exemplo, através da construção dos conceitos formais por Granger.

Até aqui definimos diferentes tipos de conceitos, em função de sua natureza, sem nos preocuparmos como são elaborados pelos sujeitos. Apresentaremos, a seguir, duas abordagens da psicologia cognitiva que tratam da complicada relação entre os conceitos e a formação pelos sujeitos.

uma forma superior ou privilegiada de conhecimento. Assim, ao Conceito (simples esquema econômico com vistas à ação) Bergson contrapôs a intuição (Evol. créatr. 8 ed., 1911, p. 247 ss.). Por esse motivo, Croce chamou os Conceitos científicos de pseudoConceitos, reservando o nome de Conceito à própria Razão (Lógica, cap. II). b3) A terceira função do Conceito é organizar os dados da experiência de modo que se estabeleçam entre eles conexões de natureza lógica. Um Conceito, sobretudo científico, via de regra não se limita a descrever e classificar os dados empíricos, mas possibilita a sua inferência dedutiva (Duhem, *La théorie physique*, pp. 163 ss.). É por esse aspecto que a formulação conceitual das teorias científicas tende à axiomatização: a generalização e o rigor da axiomatização tendem a levar ao extremo o caráter logicamente organizativo do Conceito. b4) A quarta função do Conceito, hoje considerada fundamental nas ciências físicas, é a previsão. As funções de organizar e prever são exercidas hoje pelos tipos fundamentais de Conceito científicos, que não são nem descritivos nem classificatórios, ou seja, pelos modelos, pelos Conceitos matemáticos e pelas construções". (ABBAGNANO, 2007, p. 168). "Os Conceitos matemáticos são simplesmente ocasiões para introduzir procedimentos especiais de cálculo e, nesse sentido, são instrumentos de previsão. O Conceito de "onda de probabilidade" pertencente à mecânica quântica é dessa espécie, assim como são também dessa espécie os Conceitos de "campo tensorial", "espaço curvo" etc." (ABBAGNANO, 2007, p. 169).

1.2 O Conceito na Psicologia Cognitiva

Se a discussão do que seja conceito no domínio da filosofia nos mostra o quão complexo é essa discussão, num sentido mais voltado à filosofia da ciência ela traz algumas reflexões dos diferentes níveis dos conceitos científicos e de como tais conceitos são construídos.

Voltaremos, agora, ao início do capítulo quando expressamos nossas primeiras palavras ao nos referirmos aos nossos pais ou sentidos. A relação que se estabelece entre o ato racional e o conceito é o que mais nos interessa, e embora as discussões kantianas caminhem com um pé na filosofia do conceito e outro na psicologia do conceito, é Vygotsky (1896 – 1934) quem chama atenção quando o interesse é compreender como ocorre a apreensão conceitual.

1.2.1 A formação dos Conceitos Científicos segundo Vygotsky

Ao escrever *Pensamento e Linguagem* (1995), Vygotsky problematiza, como ponto de partida, a inter-relação entre o pensamento e a linguagem. Para ele os esforços para a compreensão da conceitualização não deve ocorrer considerando nem só os conceitos nem só a linguagem, mas na relação de dependência mútua estabelecida entre ambas.

Haveria, naquele momento, duas linhas de investigação da apreensão dos conceitos. A primeira linha seria aquelas que se voltam apenas à fala; a outra, àquelas que se voltam apenas ao pensamento. Segundo Vygotsky, as pesquisas que tratam a palavra de forma isolada não seriam frutíferas, já que a palavra generaliza o conceito, não sendo capaz de, por si só, representar todo significado expresso no pensamento. Dessa forma, defende as pesquisas que não dissociam palavras do pensamento, ou seja, que se valham da unidade palavra-pensamento. Para o autor, seria nessa nova unidade que os estudos da psicologia deveriam se ater.

Outro ponto ao qual Vygotsky chama atenção é aquela que se refere às investigações da apreensão dos conceitos. Nesse caso, aponta como inadequados os métodos utilizados. Essas investigações são divididas em dois grupos principais. No primeiro, estariam aqueles interessados nas definições

verbais utilizadas pelas crianças, privilegiando os conceitos já formados. O segundo abrangeria os métodos utilizados no estudo da abstração ao solicitar para as crianças que descobrissem tipos comuns em uma série de impressões discretas.

A linguagem teria a função não apenas de comunicação entre sujeitos, mas também de abstrair generalizações nas funções psíquicas superiores. “Essa capacidade de lidar com representações que substituem o real é que possibilita que o ser humano faça relações mentais na ausência dos referentes concretos” (OLIVEIRA, 1992, p. 26). Nas palavras de Vygotsky,

Todas as funções psíquicas superiores são processos mediados, e os signos constituem o meio básico para dominá-las e dirigi-las. O signo mediador é incorporado à sua estrutura como uma parte indispensável, na verdade é parte central do processo como um todo. Na formação de conceitos, esse signo é a *palavra*, que em princípio tem o papel de meio na formação de um conceito e, posteriormente, torna-se o seu símbolo. (VYGOTSKY, 1995, p. 48).

Tendo criticado tanto as pesquisas voltadas à aprendizagem dos conceitos quanto seus métodos, Vygotsky passa a descrever as pesquisas realizadas por seu grupo de colaboradores. Essas pesquisas apontaram que a formação dos conceitos passaria por três fases, divididas em vários estágios. Dentre essas fases e estágios destacamos dois: os pseudo-conceitos e a formação dos conceitos científicos. O primeiro deles por se assemelhar aos conceitos dos adultos e, ao mesmo tempo, sendo psicologicamente muito diferentes de um conceito propriamente dito; o segundo por representar verdadeiros conceitos. Contudo, os pseudo-conceitos são, ainda, conceitos espontâneos – a exemplo dos demais conceitos formados desde a mais tenra infância – enquanto os conceitos científicos são conceitos não espontâneos por não possuírem uma história interna, sendo absorvidos já prontos.

Dito de outra forma, conceitos espontâneos seriam aqueles compartilhados entre as pessoas e o meio social que pertencem, seriam conceitos cotidianos fortemente influenciados pela formação cultural. Conceitos científicos seriam aqueles que se ensinam e aprendem nos estabelecimentos de ensino formal, como por exemplo, as escolas. Embora ambos se diferenciem no que diz respeito ao ambiente específico no qual o sujeito terá

acesso a eles – um meio social mais amplo e outro num meio social mais específico, voltado para a aprendizagem formal – e, portanto, possuam origens inicialmente distintas, eles se cruzam na medida em que atuam um sobre o outro. Vygotsky os relaciona em sentidos de movimento ascendente e descendente durante a atuação mútua: os conceitos científicos atuam nos espontâneos favorecendo que estes últimos tenham movimento ascendente, ao passo que os conceitos espontâneos atuam nos científicos movendo-os num sentido descendente.

Ao nos voltarmos, especificamente, aos conceitos científicos, Vygotsky afirma que, se o que se quer é criar métodos eficientes “para a instrução formal das crianças é necessário que se entenda o desenvolvimento dos conceitos científicos na mente da criança” (VYGOTSKY, 1995, p. 71). Nesse sentido, suas críticas são direcionadas às formas e métodos com que seus contemporâneos realizam suas experiências como, por exemplo: 1) a investigação dos conceitos científicos tomando os conceitos espontâneos num mesmo nível de validade como se ambos tivessem as mesmas ordens de apreensão; 2) ambientes que não reproduziam a realidade vivenciada pelos alunos do ambiente formal de ensino. Outra crítica diz respeito às bases teóricas nas quais tais investigações eram alicerçadas, em especial, a uma complementação e “desvio de interpretação” da lei de percepção de Claparède¹² (1873 – 1940) feita por Piaget (1896 – 1980).

Feitas tais críticas, Vygotsky passa, então, a discutir uma série de quatro investigações realizadas por ele nas quais envolvem a leitura e a escrita, a gramática, a aritmética, as ciências sociais e as ciências naturais. De maneira sucinta reescrevemos os pontos principais das quatro investigações:

- 1ª série de investigações: Haveria uma defasagem entre o domínio do mecanismo da escrita por parte de crianças na faixa dos 8 anos com relação ao uso do vocabulário durante sua fala. Ou seja, haveria um abismo enorme entre o domínio da linguagem oral e a linguagem escrita. Causas: abstração no que se refere ao uso dos signos escritos;

¹² A lei de Claparède afirma que quanto mais facilmente usamos uma relação em ação, menos consciência temos dela; nós nos conscientizamos daquilo que estamos fazendo na proporção da dificuldade que vivenciamos para nos adaptar à situação.

ausência de um interlocutor imediato; tomada de consciência dos símbolos alfabéticos no sentido de organizá-los numa sequência para que possa formar uma frase com algum sentido, ao passo que na fala nem sempre a criança tem plena consciência da ação. De acordo com Vygotsky as funções psicológicas sobre as quais a escrita se baseia nem começaram a se desenvolver quando ocorre o início do ensino.

De maneira semelhante pode-se dizer da gramática, da aritmética e das ciências naturais. A gramática, por exemplo, já é dominada pela criança em idade escolar, contudo, inconscientemente. A aprendizagem da gramática, embora pareça ter pouca utilidade, é de extrema importância para a tomada de consciência como ocorre, por exemplo, no caso das crianças pronunciarem palavras com “sc” e não serem capazes de perceberem a presença da estrutura numa palavra até que aprenda a escrever conscientemente tal estrutura. Nesse sentido, o desenvolvimento das bases psicológicas ocorreria numa interação contínua com o aprendizado, ao contrário do que acreditavam aqueles na distinção entre aprendizado e desenvolvimento.

- 2ª série: relação temporal entre os processos de aprendizado e desenvolvimento das funções psicológicas. Nessa série de investigações, Vygotsky afirma que a criança é confrontada por duas, três ou mais ideias acerca de um mesmo conceito e, de repente, capta um princípio geral e seu desenvolvimento aumenta acentuadamente. Esse tempo de desenvolvimento não coincide com o tempo de aprendizagem e não é uma regra única válida para todos os sujeitos.
- 3ª série: Assemelha-se às experiências realizadas por Thorndike, exceto pelo fato de terem sido realizadas com as matérias escolares. Nessa experiência, Vygotsky chega a conclusão de que o desenvolvimento intelectual não é compartimentado de acordo com cada tópico estudado, mas que as diferentes matérias interagem contribuindo como um todo no desenvolvimento das funções superiores.
- 4ª série: Descobrimto das possíveis zonas de avanços das crianças numa mesma tarefa. Esse experimento realizado por Vygotsky e colaboradores conclui que as crianças, através da cooperação, avançam mais ou menos na resolução de um problema proposto ideal para uma

faixa etária superior. Assim, duas ou mais crianças, na mesma faixa etária mental, ao serem confrontadas com um problema e através da cooperação apresentam diferentes avanços na resolução desse problema. A “distância” entre a idade mental da criança e o nível que ela atinge ao resolver o problema é chamada de zona de desenvolvimento proximal. A experiência mostrou que tais zonas não seriam as mesmas para duas crianças com a mesma idade mental e aquela “com a zona maior de desenvolvimento terá um aproveitamento muito melhor na escola” (VYGOTSKY, 1995, p. 89), diferentemente do que apontavam as investigações que mediam o desenvolvimento mental através dos testes padronizados.

Na sequência desse subitem, apresentaremos a Teoria dos Campos Conceituais, elaborada e desenvolvida pelo pensador francês Gérard Vergnaud (1933-). Valemo-nos da Teoria dos Campos Conceituais para justificar nossas escolhas durante o capítulo empírico e, em especial, no estudo aprofundado.

1.2.2 A Teoria dos Campos Conceituais¹³

A Teoria dos Campos Conceituais, elaborada por Gérard Vergnaud (1990), “é uma teoria cognitivista que busca propiciar uma estrutura coerente e alguns princípios básicos ao estudo do desenvolvimento e da aprendizagem das competências complexas” (VERGNAUD, 1993, p. 1) do sujeito num conjunto de situações¹⁴. Segundo ele, “o funcionamento cognitivo do sujeito-em-situação depende do estado de seus conhecimentos, implícitos ou explícitos” (VERGNAUD, 1993, p. 25).

Diferentemente da abordagem lógica atribuída aos conceitos pelos filósofos, a teoria dos campos conceituais trata os conceitos num quadro psicológico operatório:

A lógica também não é um quadro suficientemente operatório para esclarecer a complexidade relativa das tarefas e subtarefas, dos procedimentos e das representações simbólicas. Ela é muito redutora, situando no mesmo plano objetos matemáticos que, embora incluídos no mesmo padrão lógico (predicado de primeira ordem, classes de

¹³ Vale destacar que a origem da Teoria dos Campos Conceituais tem a disciplina de Matemática como saber de referência. Isso não impede que seja utilizada para outras disciplinas.

¹⁴ Vergnaud se refere a situações como tarefas e não como situações didáticas.

funções proposicionais de certo tipo, lei de composição...) não geram os mesmos problemas de conceitualização. (VERGNAUD, 1993, p. 9)

A noção de esquema, fundamental na teoria dos campos conceituais, foi incorporada à psicologia cognitiva através das contribuições de Piaget após ter sido inicialmente idealizada por Kant e modificada por Revault d'Allonnes. Na teoria dos campos conceituais é frutífero e interessante investigar as filiações e rupturas presentes nos esquemas dos sujeitos para dado conjunto de situações organizadas por conceitos semelhantes. Segundo Vergnaud:

É preciso, pois, tomar como objetos de pesquisa conjuntos relativamente amplos em situações e conceitos, classificando os tipos de relações, classes de problemas, esquemas de tratamento, representações linguísticas e simbólicas, e os conceitos matemáticos que organizam o conjunto. (VERGNAUD, 1993, p. 25)

A definição de conceito, segundo Vergnaud, está associada à tríade (**S**, **I**, **R**) onde:

- **S** é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito;
- **I** é um conjunto de invariantes-operatórios sobre as quais repousa a operacionalidade do conceito e onde se encontram seus significados manifestados através dos teoremas-em-ato e dos conceitos-em-ato;
- **R** é o conjunto de representação simbólicas (linguagem natural, gráficos, diagramas, sentenças formais etc) que podem ser usadas para representar **I** e as situações e os procedimentos para lidar com elas; é o conjunto dos significantes do conceito.

Cabe explicar como Vergnaud relaciona o aprendizado a partir da mediação entre o real e o conceito. Esta relação é complexa e seu mecanismo de formação é muito diferente daqueles envolvidos na formação do conceito científico. O acesso aos conceitos científicos exige um trabalho de reflexão sobre os próprios conceitos. É exatamente pelas idas e voltas existentes durante essa apropriação conceitual que a noção de homomorfismos é central para Vergnaud.

1.2.2.1 Homomorfismos, representação do Real e relação Significado-Significante.

O conceito de homomorfismo, segundo Vergnaud (1994), é uma correspondência entre dados de chegada e dados de saída numa correspondência dos conjuntos de classes e componentes. Este é um conceito chave para que se entenda a relação entre realidade e representação conceitual e a relação entre significante e significado. Reduzindo¹⁵ os termos ela nos remete à relação existente entre pensamento e linguagem.

O conceito de homomorfismo faz sentido para pelo menos dois níveis:

- Ao nível da representação em geral, como função psicológica: se não houvesse homomorfismos entre o real e sua representação esta não seria funcional;
- Ao nível da relação significado-significante: numa representação espacial ou linguagem de representação, devemos saber quais das propriedades de significante representam quais dos significados. (VERGNAUD, 1994)

Portanto, as representações espaciais dos conceitos científicos e a relação significado-significante podem ser tratadas em termos de homomorfismos. Nessas situações as representações introduzem novas propriedades e novas representações que podem utilizar várias dessas propriedades. Tomemos o exemplo da figura 2¹⁶:

¹⁵ O Conceito de homomorfismo não se restringe apenas à relação entre pensamento e linguagem. Também se refere à relação entre Conceito e linguagem. A esse propósito foi demonstrado no capítulo 1, através da construção formal dos Conceitos científicos com Granger, e no capítulo 2 que o princípio de conservação de energia é um deles. Se não houvesse homomorfismos na construção dos Conceitos na ciência não haveria sentido se pensar em perfis epistemológicos.

¹⁶ Adaptado de Vergnaud, 2007.

Figura 2 – Exemplos de simetria ortogonal (VERGNAUD, 2007, p. 287)

As representações acima ilustram situações de simetria ortogonal (VERGNAUD, 2007). Consideremos como tarefa dos alunos traçarem a figura simétrica tendo como eixo de simetria a reta pontilhada. Na primeira situação, (a), o aprendiz perceberá que deve traçar retas horizontais e verticais do lado direito do traço pontilhado respeitando algumas condições (como o comprimento de cada segmento de reta, a distância entre este segmento de reta e o eixo de simetria etc); já a segunda situação, (b), exigirá um pouco mais, pois será necessário utilizar esquadros, réguas, compassos exigindo capacidades mais complexas do que aquelas necessárias na situação (a). A primeira situação é adequada para crianças de 8 ou 9 anos, enquanto que a segunda, para estudantes de 12 ou 13 anos. Ou seja, a forma operatória do conhecimento depende de níveis de desenvolvimento muito diferentes em função das ações e utilização dos instrumentos necessários para o êxito ou, eventualmente, o fracasso. No entanto, há conhecimentos não totalmente explicitados na tarefa realizada pelos estudantes¹⁷:

1. A fortaleza é simétrica.
2. O triângulo $A'B'C'$ é simétrico do triângulo ABC com relação à reta pontilhada.
3. A simetria conserva as distâncias e ângulos.

¹⁷ Ver Vergnaud (2007).

4. A simetria é uma isomeria.

Nos dois primeiros casos, o conceito de simetria funciona como um predicado [...]. No terceiro enunciado, o que era predicado se converte em objeto: a simetria. Por sua vez, esse novo objeto de pensamento possui propriedades: a conservação das distâncias e dos ângulos. O quarto enunciado expressa uma relação de inclusão entre dois conjuntos: as simetrias e as isomerias; neste caso o predicado relativo à conservação das longitudes e os ângulos do terceiro enunciado se convertem em objeto de pensamento (VERGNAUD, 2007, p. 287).

Esse exemplo ilustra como a construção de conceitos ocorre apoiando-se em outros conceitos. Por este motivo a mediação através da linguagem torna-se essencial por permitir “melhor que qualquer outro processo, a identificação dos objetos que não correspondem diretamente a nenhuma percepção” (VERGNAUD, 2007, p. 287).

Se as proposições e enunciados são passíveis de verdade ou falsidade, não é o caso das palavras. Por este motivo se apoiar na mediação da linguagem não significa se limitar a palavras por não resumirem todas as propriedades dos conceitos (VERGNAUD, 2007, p. 287).

A conceitualização ocorre, assim, numa relação que vai entre o real e sua representação conceitual, entre significante e significado. A relação entre objeto, símbolo e representação durante o processo de conceitualização pode ser representada através do triângulo epistemológico clássico (Diagrama 3):

Contudo, segundo Vergnaud (1994), a conceitualização do real ocorre através de nossa ação sobre este real e, portanto, faz-se necessário considerar as diversas ações do sujeito nos diversos momentos da aprendizagem. Essas diversas ações nos diversos momentos da atividade do sujeito desempenham papel decisivo na formação dos invariantes.

Além das ações relativas aos objetos, as inferências que os indivíduos realizam são importantes por tratar-se de um trabalho duplo sobre os

objetos por um lado permitindo progressivamente a adequação deste último ao anterior enriquecendo progressivamente a representação (VERGNAUD apud WEIL-BARAIS, 1994, p. 438). A representação se enriquece de três maneiras: pela crescente complexidade (levando em consideração as propriedades e relações cada vez mais complexas), por exigência da coerência (coordenação dos campos separados, por exemplo) bem como pela diferenciação. (WEIL-BARAIS, 1994, p. 438)

Por essa razão, e de acordo com nossos interesses, o triângulo epistemológico é demasiado reducionista. O diagrama 4 abaixo¹⁸ ilustra o homomorfismo entre a realidade e o processo de conceitualização segundo Vergnaud:

Diagrama 4 – Adaptação do triângulo epistemológico clássico para a conceitualização (Weil-Barais, 1994, p. 439)

Esta nova representação envolve termos complexos não representados no triângulo epistemológico. Assim, mais que um triângulo, devemos considerar quatro termos:

¹⁸ Diagrama adaptado de Weil-Barais, 1994, p. 439.

- Os aspectos da realidade, contidos nos objetos e situações;
- Os invariantes-operatórios, ou seja, os conceitos-em-ato e os teoremas-em-ato, contidos nos esquemas e os algoritmos que os sujeitos desenvolvem para tratar as situações;
- Os significados transmitidos pela linguagem e outras representações simbólicas;
- Os significantes. (VERGNAUD, 1994, p. 10)

Explicaremos, a seguir, o papel de cada um dos termos no processo de conceitualização pelo sujeito.

1.2.2.2 Relação entre a Realidade e os Invariantes Operatórios

A primeira relação que ocorre de conjunto para conjunto¹⁹ associa conexões entre os aspectos da realidade e os invariantes operatórios. No diagrama 4 os processos envolvidos na conceitualização são ilustrados por três flechas no sentido ‘aspectos da realidade’ => ‘invariantes operatórios’. Esta relação coloca em evidência o homomorfismo, no qual o sujeito consegue mobilizar determinados invariantes operatórios, entre o mundo real e os significados.

As flechas demonstram a ‘extração’ dos invariantes operatórios da situação de partida (aspectos da realidade) e demonstram o fato de que para cada situação poderá corresponder vários invariantes operatórios. Cada uma das flechas está associada a um tipo lógico de invariante operatório. Devido à sua importância, Vergnaud, (1990) afirma que os invariantes operatórios merecem uma explicação complementar:

- “Invariantes do tipo ‘proposicional’: são suscetíveis de serem verdadeiros ou falsos; os teoremas-em-ato são invariantes desse tipo” (VERGNAUD, 1990, p. 6). Exemplo: Em exercícios de mecânica em que há atrito os alunos percebem a não-conservação da energia mecânica já que é parcialmente convertida em energia interna nas superfícies de contato (incluindo a resistência do ar). Podemos exprimir este conhecimento pelo seguinte teorema-em-ato: $E_{mec\ inic} = W + \Delta U$
- “Invariantes do tipo função ‘proposicional’: não são suscetíveis de serem verdadeiras ou falsas, mas constituem tijolos indispensáveis para a

¹⁹ Referimo-nos aqui às relações dos homomorfismos no conjunto dos aspectos da realidade (aspectos da realidade, transformações, ações do sujeito, efeitos) e dos invariantes operatórios (invariantes operatórios, cálculos relacionais ‘entre Conceitos’ e regras de ação).

construção de proposições” (VERGNAUD, 1990, p. 6). Por exemplo, nós não podemos dizer que a o conceito de energia seja verdadeiro ou falso;

- “Invariantes do tipo ‘argumento’: quem diz função proposicional e proposição diz argumento” (VERGNAUD, 1990, p. 7). Por exemplo: A energia é uma grandeza que se conserva.

Tais “distinções são indispensáveis porque a transformação de conceitos é um processo decisivo na conceitualização do real. Esta transformação significa, entre outras coisas, que as funções proposicionais podem tornar-se argumentos” (VERGNAUD, 1990, p. 8). Isso não significa que uma proposição tida como verdadeira pelo sujeito-em-ação seja uma verdadeira proposição científica. Segundo Bagheri-Crosson:

Vergnaud observa que uma representação não possui, obrigatoriamente, relação de homomorfismo no real. De fato, o sujeito pode realizar falsas inferências e utilizar regras de ação e invariantes errôneos. (BAGHERI-CROSSON, 2004, p. 21)

1.2.2.3 Relação entre Invariantes Operatórios e Significados

A segunda relação no processo de conceitualização associa os invariantes operatórios aos significados. Para o sujeito os conceitos são construídos pela utilização dos invariantes operatórios durante a ação. Isso não quer dizer que ele se valha dessa utilização de forma consciente, pelo contrário. Os conceitos e teoremas utilizados podem ser explícitos, explicitáveis, implícitos ou mesmo inconscientes. O que diferenciaria o especialista do iniciante é a capacidade de se fazer valer de conceitos formalizados durante a tomada de consciência²⁰. No entanto, todos os sujeitos recorrem a todos os níveis de explicitação e graus de consciência em ato; uns mais, outros menos (diagrama 5). *Significado* é o sentido que o sujeito dá para esses invariantes operatórios.

²⁰ Essa diferença pôde ser percebida durante o estudo preliminar, conforme se verá no capítulo 3.

Diagrama 5 – Operacionalização dos conceitos: dos invariantes operatórios aos saberes formalizados (Vergnaud, 2007, p. 299)

Nessa figura, Vergnaud (2007, p. 299) ilustra o ‘grau’ do significado utilizado pelo sujeito em situação. O especialista terá facilidade para transitar em todos os graus, enquanto o iniciante não.

1.2.2.4 Relação entre Significados e Significantes

A terceira relação associa os significados aos significantes. Os sistemas simbólicos A, B, C constituem os significantes e estão associados ao papel da linguagem: expressões matemáticas, gráficos, linguagem natural, gestos, diagramas etc. De fato, se não houver relação entre significante e significado não podemos afirmar que o conceito foi completamente apreendido.

Exemplos de significados em física:

- Signos matemáticos: z (variação da posição) e v (velocidade), por exemplo, são símbolos sobre a forma de signos matemáticos que designam uma realidade física.
- Relações matemáticas: leis de conservação representadas através da operacionalização matemática. A relação $\oint F \cdot dl = 0$, por exemplo, informa que o trabalho realizado num caminho fechado é nulo e que, portanto, a energia mecânica é conservada.

- Gráficos: Num plano a área abaixo de uma curva representada por uma realidade física pode representar outra realidade com algum tipo de vínculo com a primeira.
- Modelos: os modelos podem representar algum tipo de realidade investigada. Seu uso possibilita a aproximação com o real. Por exemplo, o modelo atômico.

1.2.2.5 A noção de Esquema

A partir deste arcabouço teórico, pelo qual Vergnaud se vale para explicar a relação entre realidade e tomada de consciência, é interessante discutirmos como seria possível investigar o processo de conceitualização do sujeito em ação. Para esta investigação, Vergnaud retoma a noção de esquema elaborado inicialmente por Kant, Piaget e Revault d'Allonnes.

1.2.2.5.1 A noção de Esquema em Kant e Piaget

A noção de esquema tem origem na filosofia kantiana e contribuições de Revault d'Allonnes e Piaget (VERGNAUD e RÉCOPÉ apud BAGHERI-CROSSON, 2004). O esquema de um conceito, de acordo com Kant, é o processo de entendimento cuja finalidade é o de atingir o objeto sensível através de seu conceito. “A esquematização do conceito não é somente um procedimento geral que permite ao conceito atingir o objeto, mas ainda, lhe garantir algum grau de generalidade necessária” (BAGHERI-CROSSON, 2004, p. 15). A experiência nos dota de inteligibilidade por meio das formas *a priori* da intuição do espaço e tempo e simultaneamente através dos esquemas das categorias, isto é, os conceitos puros de entendimento.

O termo esquema foi tomado mais tarde e desenvolvido por Revault d'Allonnes cuja “ideia de esquema está mais próximo de invariantes operatórios que daquela de esquema tal como nos apresenta hoje” (VERGNAUD e RÉCOPÉ apud BAGHERI-CROSSON, 2004, p. 16). Segundo Vergnaud e Récopé, “a ideia de atividade não está ausente no trabalho de Revault d'Allonnes, mas não foi desenvolvida por ele” (VERGNAUD e RÉCOPÉ apud BAGHERI-CROSSON, 2004, p. 16).

Piaget contribui para o desenvolvimento deste termo em psicologia e, “abrindo mão de exemplos, modificou o sentido para ação e organização da

ação” (VERGNAUD e RÉCOPÉ apud BAGHERI-CROSSON, 2004, p. 16). Voltando para a ideia das etapas de desenvolvimento infantil “percebeu que cada uma delas é caracterizada por uma estrutura cognitiva, ou seja, por uma organização particular das ações sucessivas sobre o ambiente” (BAGHERI-CROSSON, 2004, p. 16).

Desde os primeiros contatos com o mundo exterior o bebê dá sinais de uma intensa atividade perceptiva e gestual e seu meio ambiente e é essa atividade que lhe permite extrair relações estáveis entre as ações e seus resultados e entre os objetos (PLAISANCE e VERGNAUD, 2003, p. 66).

É também essa atividade que permite à criança pequena classificar e analisar, ordenar, contar, comparar, transformar. Tal organização recebeu o nome de esquema ou esquema *de ação*.

Dito dessa forma pode-se entender o motivo pelo qual Piaget minimizou os sentidos perceptivos, o papel da linguagem, do meio e interação social em detrimento da relação entre a ação e o objeto. De acordo com Vergnaud, “Piaget acabou por se interessar na interação sujeito-objeto e não suficientemente ao sujeito-esquema” (PLAISANCE e VERGNAUD, 2003, p. 66).

Ainda assim tanto Revault d’Allonnes quanto Piaget tenderam à “esboçar uma operacionalização do conceito de esquema, sem o levar aos termos finais deixando assim questões importantes em aberto: sobre os componentes dos esquemas, sobre as características de assimilação, sobre a evocação e implementação do esquema-em-situação” (VERGNAUD e RÉCOPÉ apud BAGHERI-CROSSON, 2004, p. 16).

1.2.2.5.2 A definição de Esquema para Vergnaud

A teoria dos campos conceituais é uma teoria pragmática que se utiliza da investigação das ações dos sujeitos frente às situações. Nesse sentido, a conceitualização não é apenas uma definição, mas aquilo que subjaz às competências permitindo que a ação seja operatória. Sendo assim, toma lugar privilegiado na teoria dos campos conceituais a definição de esquema. A ideia original de esquema não é própria de Vergnaud, mas é ele quem a adapta para investigar os aspectos cognitivos do sujeito-em-situação.

A noção de esquema refere-se, sobretudo, ao que é invariante²¹ na estrutura da atividade do sujeito para um conjunto de situações dadas.

O conceito de esquema designa essa atividade organizada que o sujeito desenvolve em face de uma certa classe de situações; e a história do sujeito pode, de alguns pontos de vista, ser descrita como a sequência das situações encontradas e progressivamente dominadas por ele. [...] O <<Esquema>> é uma totalidade dinâmica funcional, uma organização invariante da conduta, quanto a uma certa classe de situações. Essa organização comporta objetivos e esperas, regras de ação, tomada de decisão, tomada de informação e de controle. (PLAISANCE e VERGNAUD, 2003, p. 66)

O sentido inicial que o sujeito atribui a situação e sua conduta é sustentado pelo conjunto de esquemas iniciais que ele possui. Um esquema pode ser eficiente para todo um leque de situações podendo gerar diferentes sequências de ação, de coleta de informações e de controle de acordo com as particularidades desta ou daquela ação que o sujeito deve desenvolver na situação. “Frente a uma situação nova, vários esquemas podem ser evocados sucessiva ou simultaneamente a fim de dar-lhe sentido” (MOREIRA, 2002, p. 13). “Os esquemas evocados pelo sujeito numa dada situação ou frente a representações simbólicas é o que constitui o sentido dessa situação ou representação para esse indivíduo” (VERGNAUD, apud MOREIRA, 2002).

O desenvolvimento cognitivo estaria, assim, vinculado ao desenvolvimento de um vasto repertório de esquemas. No entanto, quando as condutas do sujeito passam a ser automatizadas no sentido de enfrentamento das situações através de algoritmos os esquemas teriam, então, transformado-se em esquemas ordinários ou hábitos. Isso não quer dizer que todos os esquemas sejam algoritmos, mas, pelo contrário, que os algoritmos sejam esquemas. Sendo nos esquemas que os sujeitos expressam suas tentativas perante a situação proposta, eles assumem posição de destaque ao nos voltarmos à análise do processo cognitivo do sujeito. Todavia, os conceitos utilizados podem não ser verdadeiros conceitos científicos assim como nem os teoremas podem não ser verdadeiros teoremas científicos. São esses

²¹ “É importante marcar que a característica de ser invariante não se refere aos elementos formais que definem uma classe de situações, nem mesmo às ações, mas refere-se, essencialmente, ao que é invariante na organização das ações” (FRANCHI, 2010, p. 200).

conceitos e teoremas utilizados em ato – também chamados de invariantes operatórios – que tornam possível a elaboração dos esquemas. Portanto,

esta organização [o esquema] é formado necessariamente de quatro componentes: 1. metas, submetas e antecipações; 2. regras de ação, de tomada de informação e de controle; 3. os invariantes operatórios: conceitos-em-ato e teoremas-em-ato; 4. as possibilidades de inferência em situação [...] Vergnaud (1990a) pensa que o estudo da formação de um conceito não pode ser conduzido independentemente de uma parte das situações que lhe dão significados, de outra parte dos significantes que se destinam a identificar e simbolizar suas diferentes propriedades. De acordo com ele, “os conceitos do esquema e da situação [por situação, entenda aqui como tarefa] podem considerar os fenômenos cognitivos independentemente da linguagem e outras formas simbólicas”. Os esquemas que organizam a ação operatória constituem segundo Vergnaud (1991), “uma chave sem a qual a gente não compreende nem a seleção que se opera dentro da tomada de informação perceptível, nem a seleção que se faz dentro da atividade da linguagem” (VERGNAUD apud BAGHERI-CROSSON, 2004, p. 17-18).

Será em termos de esquemas que os alunos precisarão analisar a escolha de boas operações e de bons dados para resolver um problema no qual existem muitas possibilidades de escolha. A tomada de informação na leitura do enunciado, informações físicas (medidas, por exemplo), a pesquisa de informações em documentações (num livro escolar, num quadro estatístico etc.), a retomada de conceitos e teoremas tratados anteriormente (energia e massa clássica, movimento relativo, conservação da energia etc.) e a combinação adequada destas informações pelas operações de adição, de subtração, de multiplicação e de divisão, obedecem, em geral, a esquemas, sobretudo nos alunos que dominam estas situações. Para outros alunos, trata-se de resolução de problema, porque as situações em jogo não são, ainda, triviais para eles; mas os procedimentos heurísticos são esquemas: não são nem efetivos como os algoritmos, nem mesmo eficazes às vezes. Durante essas situações de resolução e discussão e durante a escolha dos esquemas pelos alunos é que se manifestarão os conceitos-em-ato e os teoremas-em-ação utilizados.

1.3 O Conceito de Energia mecânica nos Manuais de Ensino Universitário

Apresentaremos, agora, o princípio de conservação de energia e pequenos recortes dos respectivos conceitos chaves tratados em quatro manuais de ensino de física básica para a formação, seja de professores em

formação inicial, seja de cientistas (físicos, químicos etc), seja de engenheiros nas disciplinas iniciais de física²². São os seguintes manuais: Nussenzveig, (2002), Tipler e Mosca, (2009); Halliday, Resnick e Walker, (2009); Kittel, Knight e Ruderman, (1970). Além dessas quatro, também voltamos nossos olhares para a versão traduzida para a língua portuguesa de *Leituras de Física* de Feynman, Leighton e Sands, (2009) por conta de seu conhecido cuidado com as exposições dos conceitos.

Feito isso, à luz da meta-discussão, mostraremos que a abordagem adotada pelos manuais tende a privilegiar algumas perspectivas no que se refere ao conceito em detrimento de outras. A fim de reforçar nossa argumentação, daremos ênfase ao teorema trabalho-energia apresentado nos manuais como exemplo.

1.3.1 Definição de Energia

As dificuldades envolvidas quando se trata de uma definição formal para energia é consensual. Embora muitos dos livros textos tradicionais resumam energia como sendo “a capacidade de realizar trabalho” o que melhor definiria energia é sua conservação. Diferentemente de outras grandezas diretamente observáveis, podemos medi-la, sabemos do princípio de conservação, da degradação, mas não a observamos diretamente. Para Bunge (2000), este conceito transita, assim, entre a física e a metafísica, por não ter uma explicação satisfatória no domínio da física, mas, que, ao mesmo tempo os físicos se valem de seus princípios de acordo com seus interesses. Abaixo seguem a definição de energia como é apresentada nos livros examinados:

²² Daremos destaque aos aspectos da Conservação da Energia Mecânica e comentaremos, em especial, o Teorema Trabalho-Energia por estar no limite entre a dinâmica e o Princípio de Conservação da Energia.

i. Nussenzveig²³:

Após demonstração de que a grandeza $\frac{1}{2}v^2 + gz$ “é *conservada* no movimento de uma partícula sob a ação do campo gravitacional uniforme na vizinhança da superfície da Terra” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 107), Nussenzveig demonstra a validade dessa igualdade para todas as partículas do sistema através de $E = \sum \frac{1}{2}mv^2 + mgz$ (NUSSENZVEIG, 2002, p. 108), para na página seguinte anunciar que “chama-se ENERGIA a capacidade de produzir trabalho” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 109).

ii. Tipler e Mosca:

Na seção destinada à introdução do teorema trabalho-energia, Tipler e Mosca (2009, p. 171), introduzem a ideia de energia como sendo “um dos conceitos unificadores mais importantes da ciência” (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 171), para na continuação definir energia de um sistema como sendo “uma medida de sua habilidade em realizar trabalho” (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 171).

iii. Halliday, Resnick e Walker:

Halliday, Resnick e Walker (2009) assumem a dificuldade na definição concisa do conceito da energia (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 153) para, a seguir, afirmar que “tecnicamente, a energia é uma grandeza escalar associada ao estado de um ou mais objetos...” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 153). Contudo, os próprios autores entendem tratar-se de uma definição vaga e que uma boa definição inicial, menos rigorosa, seria considerar que “é um número que associamos a um sistema de um ou mais objetos” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, P. 153).

²³ Embora Nussenzveig acabe por chamar ‘Energia como a capacidade de *produzir trabalho*’ o caminho didático percorrido por ele se inicia conceitualmente através de dois exemplos demonstrando através duma construção matemática que há algo que se conserva para, somente depois, apresentar o Conceito (NUSSENZVEIG, 2002, p.105-109).

iv. Feynman, Leighton e Sands:

No conhecido *Leituras de Física*, Feynman inicia o tópico sobre conservação da energia tratando-a como “uma *lei* que governa todos os fenômenos naturais que são conhecidos até hoje” (FEYNMAN, LEIGHTON e SANDS, 2009, sec. 4.1) associada à existência de certa quantidade, chamada energia, “que não muda nas múltiplas modificações pelas quais a natureza passa” (FEYNMAN, LEIGHTON e SANDS, 2009, 4.1). Na continuidade do tópico, Feynman reconhece tratar-se de algo abstrato e, através da analogia com blocos de brinquedo, tenta demonstrar a conservação da quantidade matemática. Feynman chama atenção, então, para a importância do sistema e para as diferentes formas que a energia pode assumir, finalizando o tópico com a seguinte afirmação:

é importante perceber que, na física atual, não temos conhecimento do que é a energia. [...] Entretanto, existem fórmulas para calcular certas quantidades numéricas e ao somarmos tudo o resultado é ‘28’ – sempre o mesmo número (FEYNMAN, LEIGHTON e SANDS, 2009, 4.1).

v. Kittel, Knight e Ruderman:

No *Curso de Física de Berkeley*, a conservação da energia é associada ao amplo contexto das várias Conservações da energia existentes no universo. Segundo os autores, “uma lei de conservação é, usualmente, a consequência de alguma simetria básica do universo” (KITTEL, KNIGHT e RUDERMAN, 1970, p. 127). Contudo, não encontramos nenhuma definição explícita para a definição de energia neste livro. Ao invés disso encontramos que “a lei de conservação da energia envolve os conceitos de energia potencial, energia cinética e de trabalho” (KITTEL, KNIGHT e RUDERMAN, 1970, p. 128).

1.3.2 Modalidades de Energia

Embora a ideia do conceito da energia seja abstrata, há termos que tornam possível associá-la a diferentes condições ou estados. Os exemplos de termos utilizados são consensuais nos diferentes manuais:

1.3.2.1 Energia Cinética

i. Nussenzveig:

“A energia cinética de uma partícula de massa m que se move com velocidade v é dada por $T = \frac{1}{2}mv^2$, onde $v = |v|$ ” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 109).

ii. Tipler e Mosca:

Os autores definem energia cinética como sendo aquela associada ao movimento (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 171). Na sequência, os autores associam força e energia cinética afirmando que “quando Forças realizam trabalho sobre uma partícula, o resultado é uma variação da energia associada ao movimento da partícula – a energia cinética” (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 171). Após a afirmação, *a priori*, da relação existente entre trabalho e energia cinética, os autores articulam operacionalmente relações da dinâmica newtoniana para demonstrar a validade da afirmação na qual, por fim, apresentam a “quantidade $\frac{1}{2}mv^2$ ” (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 171) como sendo “uma grandeza escalar que representa a energia associada ao movimento da partícula e é chamada de energia cinética K da partícula $K = \frac{1}{2}mv^2$ ” (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 172).

iii. Halliday, Resnick e Walker:

Os autores definem a energia cinética como sendo aquela “associada ao *estado de movimento* de um objeto” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, 154). Os autores associam a intensidade da energia cinética à seu movimento e repouso, sendo que, “para um objeto cuja velocidade é muito menor que a velocidade da luz” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 154) têm-se $K = \frac{1}{2}mv^2$.

iv. Feynman, Leighton e Sands:

Os autores introduzem a modalidade de energia *cinética* após a introdução da modalidade *potencial* e, a partir daí, utilizam o exemplo do

movimento do pêndulo simples para justificar o desaparecimento da energia potencial na posição de máxima velocidade. Buscando justificar a existência de uma fórmula para expressar essa modalidade de energia, relembram seus “argumentos sobre máquinas reversíveis, podendo ver facilmente que o movimento na parte mais baixa deve existir uma quantidade de energia que a permita subir a certa altura” (FEYNMAN, LEIGHTON e SANDS, 2009, 4.3). Associando tal afirmação com a fórmula já desenvolvida para a modalidade energia potencial, *descobre* que a modalidade energia cinética pode ser escrita na forma $E_c = Wv^2/2g$ (FEYNMAN, LEIGHTON e SANDS, 2009, sec. 4.3).

v. Kittel, Knight e Ruderman:

Em *Curso de Física de Berkeley*, a energia cinética é introduzida a partir de uma consequência da forma integral da segunda lei de Newton. Os autores definem, então, “ $\left(\frac{1}{2}\right)Mv^2$ como a *energia cinética* da partícula” (KITTEL, KNIGHT e RUDERMAN, 1970, p. 129).

1.3.2.2 Energia Potencial Gravitacional

i. Nussenzveig:

O autor introduz a energia potencial Gravitacional à partir da associação do trabalho realizado por um bate-estacas que, na posição z_0 de altura máxima, sua energia seria dada por $E = mgz_0$. “Esta forma de energia, que só depende da posição em que o bloco se encontra, chama-se *energia potencial*” (NUSENZVEIG, 2002, p. 109).

ii. Tipler e Mosca:

Tipler e Mosca associam a energia potencial Gravitacional com a não variação da energia cinética do sistema em decorrência da energia transferida a um sistema, pelo trabalho realizado por forças externas sobre ele. Segundo os autores, esse *trabalho* seria armazenado na forma de energia potencial Gravitacional (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 197).

iii. Halliday, Resnick e Walker:

Os autores introduzem essa modalidade afirmando que “tecnicamente, energia potencial é qualquer energia que pode ser associada à configuração (arranjo) de um sistema de objetos que exercem forças uns sobre os outros” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 181) para, na sequência, associá-la ao trabalho.

iv. Feynman, Leighton e Sands:

Os autores apresentam a energia potencial Gravitacional através de uma linha de raciocínio na qual recorrem à “possível” existência de uma máquina de movimento perpétuo até o momento que chama “a soma dos pesos multiplicados pelas alturas de *energia potencial Gravitacional* – a energia que um objeto tem devido sua posição no espaço relativo à Terra” (FEYNMAN, LEIGHTON e SANDS, 2009, sec. 4.2)

v. Kittel, Knight e Ruderman:

Assim como foi demonstrado para a energia cinética, os autores partem da segunda lei de Newton para introduzir a energia potencial Gravitacional como uma *sugestão* de que “à altura h , o corpo tem *energia potencial* (capacidade de executar trabalho ou de adquirir energia cinética) de Mgh , relativamente à superfície da terra” (KITTEL, KNIGHT e RUDERMAN, 1970, p. 130).

1.3.2.3 Trabalho

O conceito de trabalho também parece ser de difícil compreensão. Da mesma forma como ocorre com a definição formal apresentada nos livros para o conceito de energia, o conceito de trabalho costuma ser associado ao deslocamento de um ponto na aplicação de uma força. Além disso, a existência do teorema da energia cinética parece tautológica, já que define trabalho como sendo a variação da energia cinética e energia como a capacidade de realização de trabalho. Abaixo as definições encontradas nos livros pesquisados:

i. Nussenzveig:

Partindo de um exemplo – bate-estacas –, Nussenzveig, introduz o conceito de trabalho ao considerar que “a força F aplicada à estaca, enterrando-a de Δz , ou seja, *produzindo um deslocamento de Δz na direção da força, realiza um **trabalho** $\Delta W = F \cdot \Delta z$ sobre a estaca*” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 108, 109). Mais adiante, o autor define o conceito de trabalho de uma força variável obtida à partir de demonstrações gráficas e da equação

$$W_{x_0 \rightarrow x_1} = \int_{x_0}^{x_1} F(x) dx \text{ para, a seguir, demonstrar sua validade para os casos}$$

particulares de trabalho constante (mola) e o teorema da energia cinética.

ii. Tipler e Mosca:

Após um breve início, no qual os autores chamam atenção que não se trata de trabalho como esforço pessoal, aparece uma primeira definição para o conceito de trabalho como sendo “a transferência de energia por uma força” (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 169). Mais abaixo, na mesma página da citação anterior, é possível perceber outra (re) definição para o que seja trabalho quando os autores procuram chamar atenção para o que seria a correta definição do conceito de trabalho ao considerar o deslocamento do ponto de aplicação da força no corpo e não toda a extensão do corpo:

É usual dizer que trabalho é força vezes distância. Infelizmente a afirmativa ‘trabalho é força vezes distância’ é enganadoramente simples. trabalho é realizado sobre um corpo por uma força quando o ponto de aplicação da força se desloca. Para uma força constante, o trabalho é igual à componente da força no sentido do deslocamento vezes a magnitude do deslocamento (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 169).

A expressão matemática que permite traduzir o trabalho de uma força constante num deslocamento é “ $W = F_x \Delta x = F \cos \theta |\Delta x|$ ” (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 170). A partir dessa definição, os autores avançam para a definição do conceito de energia cinética quase como consequência natural do teorema trabalho-energia cinética que também é apresentado na mesma sequência como implicação direta da segunda lei de Newton. A expressão matemática para o teorema trabalho-energia é “ $W_{total} = \Delta K$ ” (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 172).

Após a validação matemática das expressões acima através de sua utilização em problemas envolvendo molas e outras forças conservativas, os autores retomam o conceito do trabalho para uma força variável. Para essa nova situação, os autores recorrem ao gráfico do trabalho da força constante *versus* o deslocamento, afirmando que essa área é numericamente igual ao trabalho e que, para forças variáveis o trabalho total seria o limite de pequenos retângulos, podendo ser representado matematicamente por $W = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum_i F_{xi} \Delta x_i = \text{área sobre a curva } F_x \text{ versus } x$ que “é a integral de $F_x dx$ no

intervalo de x_1 para x_2 [...] $W = \int_{x_1}^{x_2} F_x dx = \text{área sob a curva } F_x \text{ versus } x$ ” (TIPLER e MOSCA, 2002, p. 174).

iii. Halliday, Resnick e Walker:

A definição formal de trabalho para Halliday, Resnick e Walker é “a energia transferida para um objeto ou de um objeto através de uma força que age sobre o objeto. Quando a energia é transferida para o objeto, o trabalho é positivo; quando a energia é transferida do objeto, o trabalho é negativo” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 155). Mais abaixo, os autores resumem o conceito de trabalho como sendo energia transferida, alertando que o termo *transferência* pode ser enganador e que, nesse caso, trata-se de uma transferência parecida com a que ocorre entre contas bancárias e não como *fluxo de água*.

Nos tópicos seguintes, os autores retomam o conceito de trabalho, definem trabalho de uma força constante e introduzem o teorema trabalho-energia, como consequência da segunda lei de Newton, assim como introduzem o conceito de energia cinética como consequência direta dessa lei. Paralelamente, eles demonstram o teorema trabalho energia cinética, relacionando os conceitos de trabalho e de energia cinética. Para os autores, o conceito de trabalho resultante pode ser entendido como sendo a variação da energia cinética e sua expressão matemática $\Delta K = K_f - K_i = W$, que também poderia ser escrita como $K_f = K_i + W$ (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 157).

Após uma série de demonstrações e aplicações do conceito de trabalho de força constante em situações com forças conservativas, os autores definem a versão genérica do conceito de trabalho para forças variáveis. Essa definição se inicia a partir da análise gráfica, chamando “ $F_{j,méd}$ o valor médio de $F(x)$, no intervalo de ordem j ” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 165), expresso matematicamente como sendo $\Delta W_j = F_{j,méd} \Delta x$, que para o limite infinito de retângulos tendendo a zero é expresso por $W = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum F_{j,méd} \Delta x$ que, para os autores, é exatamente igual a integral $W = \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx$.

iv. Feynman, Leighton e Sands:

O conceito de trabalho, em *Leituras de Física*, é apresentado em dois capítulos. No primeiro deles, os autores introduzem a definição formal do conceito, ora com considerações dos fenômenos, ora com a construção e validação das expressões matemáticas; também validam suas expressões matemáticas através da aplicação para o campo gravitacional. Diferentemente do que ocorre com os outros manuais, Feynman, Leighton e Sands iniciam a construção do conceito de trabalho à partir da expressão de energia cinética e não da segunda lei de Newton. Tal construção é realizada derivando-se a energia cinética com relação ao tempo até o que se chegue ao produto vetorial da força pela derivada do vetor velocidade com relação ao tempo, da seguinte

forma:
$$\frac{d\left(\frac{1}{2}mv^2\right)}{dt} = \frac{d\left(\frac{1}{2}m\vec{v} \cdot \vec{v}\right)}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} = \vec{F} \cdot \vec{v} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{s}}{dt}$$
 (FEYNMAN, LEIGHTON e SANDS, 2009, sec. 13.1).

A seguir, os autores multiplicam o primeiro e o último membro da equação por dt , de modo a obterem $dT = \vec{F} \cdot d\vec{s}$ que, após ser

integrado tem-se: $\Delta T = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{s}$. Os autores apresentam essa última expressão

com o nome de trabalho e explicitam seu significado. No segundo capítulo, os autores retomam a discussão do conceito de trabalho e demonstram sua aplicação, seja para forças conservativas, em geral, seja para forças não conservativas e potências e campos.

v. Kittel, Knight e Ruderman:

Kittel, Knight e Ruderman iniciam o tópico destinado à discussão do conceito definindo o “trabalho W , realizado sobre uma partícula por uma força aplicada constante $\vec{F}_{ap}$, num deslocamento $\Delta\vec{r}$, como $W = \vec{F}_{ap} \cdot \Delta\vec{r} = F\Delta r \cos \theta$ ” (KITTEL, KNIGHT e RUDERMAN, 1970, p. 135). Após considerarem pequenos deslocamentos para a aplicação da força, os autores demonstram a validade da expressão $\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \sum_j \vec{f}(\vec{r}_j) \cdot \Delta\vec{r}_j = \int_{rA}^{rB} \vec{f}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$ para então definir “o trabalho realizado pela força aplicada, durante o deslocamento” (KITTEL, KNIGHT e RUDERMAN, 1970, p. 135) como sendo $W(A \rightarrow B) \equiv \int_A^B \vec{F}_{ap} \cdot d\vec{r}$.

1.3.2.4 A Conservação da Energia Mecânica

i. Nussenzweig:

Nussenzweig introduz a noção de conservação da energia mecânica tratando do movimento vertical de queda livre, no qual recorre à variação da energia potencial Gravitacional como sendo igual ao trabalho realizado para o deslocamento da partícula entre dois pontos quaisquer. Feito isso, retoma a ideia de que o trabalho é igual à variação da energia cinética, demonstrando assim a conservação da energia mecânica. A seguir, o autor realiza procedimento parecido, mas partindo da variação da energia potencial Elástica como sendo igual ao trabalho realizado. A partir dessas duas discussões, o autor combina algumas equações para generalizar, matematicamente, a observação através de $E = T + U(x) = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$. Segundo o autor, “forças sob a ação das quais existe uma função energia mecânica que se conserva durante o movimento da partícula, chamam-se **forças conservativas**” (NUSENZVEIG, 2002, p. 114). Após algum esforço para o convencimento da validade conceitual da conservação para forças conservativas, o autor afirma ser possível exprimir “a condição para que uma força seja conservativa” (NUSENZVEIG, 2002, p. 115) implicando em “

$$\int_{x_1}^{x_0} F(x)dx = W_{x_1 \rightarrow x_0} = - \int_{x_0}^{x_1} F(x)dx = U_1 - U_0, \text{ ou seja, somando membro a membro,}$$

[que equivale a] $W_{x_0 \rightarrow x_1} + W_{x_1 \rightarrow x_0} = 0$, ou seja, o trabalho total realizado numa ‘viagem de ida e volta’ é nulo”. (NUSSENZVEIG, 2002, p. 116). Na continuação dessa demonstração, o autor afirma ser intuitivo “que isso corresponde a uma força que conserva a energia mecânica: se é preciso fornecer trabalho à partícula na ‘ida’, ele é integralmente devolvido na ‘volta’” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 116).

ii. Tipler e Mosca:

Após os autores introduzirem os conceitos de trabalho, energia potencial Gravitacional e energia cinética em tópicos anteriores, separadamente, eles iniciam a introdução da conservação de energia mecânica afirmando ‘estar pronto’ para discutir a relação entre energia cinética e potencial. Inicialmente os autores afirmam que o trabalho total realizado por todas as forças é igual à variação da energia cinética do sistema, $W_{total} = \sum \Delta K_i = \Delta K_{sis}$, para, a partir daí, argumentarem que o conceito de trabalho total é igual ao trabalho externo mais aquele parcialmente transformado em movimento e parcialmente transformado em forças não-conservativas, ou seja, $W_{total} = W_{ext} + W_{nc} + W_c$ (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 205). Após rearranjarem essa última equação e considerarem que o trabalho da força conservativa é igual à variação negativa da energia potencial, a equação toma a forma $W_{ext} + W_{nc} = \Delta K_{sis} + \Delta U_{sis}$, onde o lado direito, $\Delta K_{sis} + \Delta U_{sis} = \Delta(K_{sis} + U_{sis})$, passa a ser chamado de **energia mecânica total** $E_{mec} = K_{sis} + U_{sis}$. Assim que tal demonstração é realizada, Tipler e Mosca consideram o caso de que todas as forças externas e internas não-conservativas sejam zero para validar a demonstração da conservação de energia mecânica como sendo $E_{mec} = K_{sis} + U_{sis} = \text{constante}$.

iii. Halliday, Resnick e Walker:

No tópico que tratam da conservação da energia mecânica, os autores são bem diretos para a primeira introdução do que seja a energia mecânica, na primeira linha é possível ler “a energia mecânica E_{mec} de um sistema é a soma da energia potencial U do sistema com a energia cinética K dos objetos que compõem o sistema” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 187). Após algumas articulações operacionais com as expressões matemáticas

adequadas, nas quais os autores fazem restrições para forças não-conservativas, a definição da conservação da energia mecânica pode ser lida na página seguinte como,

em um sistema isolado, onde apenas forças conservativas causam variações de energia, a energia cinética e a energia potencial podem variar, mas sua soma, a energia mecânica E_{mec} do sistema, não pode variar (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 188).

iv. Feynman, Leighton e Sands:

Não há um tópico específico que trate da conservação de energia mecânica em *Leituras de Física*. No entanto, Feynman, Leighton e Sands lidam com esse conceito no tópico para forças conservativas na qual desenvolvem, com algumas articulações matemáticas e discussões conceituais, tal conservação como aplicação do conceito de trabalho.

v. Kittel, Knight e Ruderman:

Em *Curso de Física de Berkeley* não há tópico específico que trate da conservação da energia mecânica. Entretanto, os autores introduzem rapidamente a conversão da energia potencial Gravitacional em energia cinética durante a discussão a respeito de queda livre.

1.3.2.5 Conservação do Momento, Impulso e Colisões

i. Nussenzveig:

Nussenzveig inicia a apresentação do conceito de Momento, do conceito de sua conservação e de colisões sem muita preocupação na definição rigorosa do que seja cada uma dessas ideias. Para isso, o autor ilustra algumas observações de experiências de colisões, unidimensionais e frontais, de dois discos de mesma massa em três situações: na primeira delas os dois discos possuem mesma velocidade $\mathbf{v}$, mas com sentidos opostos; na segunda e terceira, um disco possui velocidade $\mathbf{v}$ e o outro está em repouso. Enquanto os discos, na primeira e segunda experiências demonstradas por Nussenzveig, separam-se após a colisão; na terceira, eles permanecem colados. A finalidade do autor é demonstrar que, seja na primeira, na segunda e na terceira experiências, a quantidade de movimento do sistema antes e após a colisão é conservada. O autor chama atenção para o tempo de contato, muito pequeno,

durante a colisão e para considerações da lei de ação e reação da dinâmica. Após tais considerações ele explora a introdução experimental e teórica com a validação matemática demonstrando que $\frac{d}{dt}(\vec{p}_1 + \vec{p}_2) = 0$ e que durante as colisões $\vec{F}_{1(2)} = -\vec{F}_{2(1)}$.

ii. Tipler e Mosca:

Tipler e Mosca introduzem o conteúdo partindo de exemplos do cotidiano como colisões entre bolas e tacos, que podem ser generalizados em outras situações como colisões entre partículas subatômicas. Rapidamente, a partir dessa breve introdução, apresentam a expressão que relaciona massa e velocidade como sendo o que hoje se chama de momento. Segundo o autor, essa consideração foi observada por Newton ao enunciar a segunda lei da dinâmica. A partir desse ponto, os autores articulam a definição matemática do momento com a segunda lei da dinâmica para demonstrarem a conservação do Momento, seja através de sua expressão matemática ($\sum \vec{F}_{ext} = 0$, então $\vec{P}_{sis} = \sum_i m_i \vec{v}_i = M\vec{v}_{cm} = \text{constante}$), seja através de seu enunciado como “se a soma das forças externas sobre um sistema permanece zero, então a quantidade de movimento total do sistema permanece constante” (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 243). Mais adiante, Tipler e Mosca, voltam a tratar das colisões, interessados em introduzir o conceito de impulso. Para isso, retomam exemplos parecidos com aqueles utilizados no início do capítulo, chamam atenção para o tempo curto durante o contato das colisões e distinguem três tipos de colisões, de acordo com a conservação da energia cinética: as Elásticas, as Inelásticas e as perfeitamente Elásticas (TIPLER e MOSCA, 2009, p. 248). A seguir, introduzem o conceito de impulso considerando como parâmetros a intensidade da força e a duração do tempo durante a colisão cuja expressão matemática é $\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$ e, após algumas articulações operacionais demonstram que $\vec{I}_{res} = \Delta \vec{p}$.

iii. Halliday, Resnick e Walker:

Após iniciarem o tópico referente à conservação de Momento com alguns exemplos práticos, os autores introduzem o conceito de momento linear como sendo uma grandeza vetorial associada à expressão matemática $\vec{p} = m\vec{v}$. Segundo os autores, Newton teria enunciado a segunda lei da dinâmica em termos de momento como sendo “a taxa de variação com o tempo do momento de uma partícula é igual à força resultante que atua sobre a partícula e tem a mesma orientação que essa força” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 226) que, em forma de equação ficaria $\vec{F}_{res} = \frac{d\vec{p}}{dt}$. Nos tópicos seguintes, os autores lidam com o conceito de colisão e impulso, através de operacionalizações matemáticas sem muita preocupação nas discussões conceituais até definirem a conservação do Momento, no tópico seguinte, na afirmativa “se um sistema de partículas não está submetido a nenhuma força externa, o momento linear total $\vec{P}$ do sistema não pode variar” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 231) que, expresso na linguagem matemática equivale a “ $\vec{P}_i = \vec{P}_f$ (sistema isolado e fechado)” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 231). Os autores chamam atenção para o fato de que o conceito de momento não deve ser confundido com o conceito de energia, mas não mencionam se é a energia cinética a modalidade a que estão se referindo.

iv. Feynman, Leighton e Sands:

Feynman, Leighton e Sands, iniciam o tópico sobre *conservação de Momento* justificando-a como uma das consequências da terceira lei de Newton. A partir daí, os autores apresentam a conservação do Movimento para colisões unidimensionais considerando corpos com massas e velocidades diferentes. A perspectiva adotada por eles é a da discussão conceitual da qual, muitas vezes, as expressões matemáticas surgem como consequência dessas discussões. A distinção entre momento e energia é realizada num tópico separado no qual privilegiam aspectos conceituais para explicarem a relação desses conceitos – e suas conservações – para as colisões elásticas e para as inelásticas.

v. Kittel, Knight e Ruderman:

O capítulo que trata da conservação do Momento Linear é iniciado com considerações acerca da invariância galileana. Os autores valem-se da força como o negativo de operadores diferenciais da energia potencial a fim de demonstrarem que “desde que a força total é nula, então, pela lei de Newton, o momento linear total é constante” (KITTEL, KNIGHT e RUDERMAN, 1970, p.

160) através das seguintes igualdades: $\frac{\partial U}{\partial x_1} = -\frac{\partial U}{\partial x_2}$ ou $F_1 = F_2$. Ao final da

primeira seção, os autores chamam atenção para a invariância da energia potencial, e não da força, como condição para a conservação do Momento:

Note que a força *pode* ser translacionalmente invariante sem que o momento seja conservado. O importante é que a *energia potencial* seja invariante. O momento linear é constante somente quando a energia potencial é invariante por translação (KITTEL, KNIGHT e RUDERMAN, 1970, p. 160).

A partir daí, os autores introduzem o conceito de centro de massa e alguns exemplos de colisões de partículas subatômicas, privilegiando o desenvolvimento conceitual fortemente baseado em articulações matemáticas.

1.3.3 Comentários

A meta-discussão apresentada na primeira seção traz à tona as várias perspectivas pelas quais os conceitos científicos podem ser considerados:

- Quanto à sua natureza;
- Quanto aos seus perfis epistemológicos;
- Quanto à sua construção;
- Quanto à linguagem;
- Quanto às suas diversas funções (aplicabilidade, estabelecer elo entre outros conceitos, prever, ser operacional, modelar etc)

O que se percebe nos manuais é uma prevalência de algumas perspectivas conceituais em detrimento de outras. Assim, por exemplo, a perspectiva funcional prevalece sobre a perspectiva da natureza conceitual, aos diferentes perfis epistemológicos e às suas diferentes construções racionais. Portanto, o que é oferecido aos nossos alunos e aos olhos dos professores em formação inicial é um quadro conceitual precário. Essa

constatação é, por si só, motivo para explicar as dificuldades no entendimento daquilo que o manual se propõe a ensinar.

Suponha-se, contudo, que é esse o modelo de manual que devemos utilizar. Esquece-se o tratamento epistemológico dado aos conceitos ali presentes, e olhemos com algum cuidado o próprio caráter do ‘conceito-função’. Tomemos, para isso, o teorema trabalho-energia de modo a respeitar a linearidade nas escolhas de nossos exemplos²⁴. Vamos retomar os passos numa provável introdução do princípio de conservação da energia até a construção/demonstração do teorema trabalho-energia, como consequência das leis de Newton e, por fim, aplicar tal teorema a um sistema bloco-superfície com atrito.

O conceito de energia é, comumente, introduzido a partir da relação existente na dinâmica newtoniana²⁵:

$$F_{res} = m.a \quad (8)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2.a.\Delta S \quad (9)$$

$$F_{res}.\Delta S = \frac{1}{2}m.v^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right) \quad (10)$$

Ou, de outra forma, para um curso baseado em cálculo:

$$a \equiv \frac{dv}{dt} = \left(\frac{dv}{ds}\right)\left(\frac{ds}{dt}\right) = v \frac{dv}{ds} \quad (11)$$

Que pode ser reescrita com alguma sofisticação,

$$\int_{S_0}^S F_{res}.ds = \Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right) \quad (12)$$

O nome dado a essa equação é teorema ‘trabalho-energia’ e significa que “o trabalho da força resultante não desaparece, é *Conservada e convertida*”

²⁴ Trataremos da construção histórica da relação mecânica entre trabalho e energia com L. Carnot e Lagrange nos subitens 1.4.1.1 e 1.4.1.2.

²⁵ Essa nossa defesa é uma adaptação de Arons (1999).

em energia cinética” (ARONS, p. 1063, 1999), sendo que a $\int_{S_0}^S F_{res} . ds$ é dado o nome de trabalho e à quantidade $\Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$ é dado nome de “energia cinética da partícula” (ARONS, 1999, p. 1063). Da mesma forma deve ocorrer com outras forças e com objetos macroscópicos.

O teorema ‘trabalho-energia’ sintetiza, numa equação, fenômenos da dinâmica e, ao ter como ponto de partida a segunda lei da dinâmica newtoniana, tem aplicações limitadas, diferentemente do princípio de conservação da energia. Para crer na consistência lógica dessa nossa afirmação deve-se pensar na relação tautológica que seria estabelecida; caso o princípio de conservação da energia realmente fosse uma consequência direta das leis de Newton, não seria, dessa forma, um princípio independente, como é agora.

Essa inconsistência lógica do teorema trabalho-energia limita conceitualmente, por exemplo, seu uso em situações dinâmicas que envolvam atrito, sistemas bloco-mola, salto vertical ascendente (impulsionando o corpo para cima com os joelhos dobrados), impulso que o *skatista* dá em si mesmo contra uma parede para entrar em movimento etc.

Vejamos a abordagem (adaptada por nós) apresentada em Halliday, Resnick e Walker (2009, p. 195) ao tratar do trabalho da força de atrito de um bloco cuja velocidade varia de v_0 a v . Aplicando a segunda lei de Newton, têm-se,

$$F - f = m.a, \quad (13)$$

onde

F é a força motriz, f é a força de atrito, m a massa do bloco e a é a aceleração. Tomando $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S$ e assumindo forças constantes,

$$F\Delta S - f\Delta S = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2, \quad (14)$$

mas como

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \Delta K, \quad (15)$$

podemos escrever

$$F\Delta S - f\Delta S = \Delta K, \quad (16)$$

ou

$$F\Delta S = \Delta K + f\Delta S, \quad (17)$$

onde ΔK é a variação da energia cinética²⁶.

A seguir, é possível ler “observamos experimentalmente que o bloco e a parte do piso ao longo da qual o bloco se desloca ficam mais quentes quando o bloco está se movendo” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 195). A justificativa do autor é a de que a “energia Térmica do bloco e do piso aumenta porque (1) existe atrito entre eles e (2) há movimento” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 195). Com vistas a essa demonstração, questiona Arons,

Se a energia é, de fato, conservada, o que ocorre com essa quantidade de trabalho? Se o deslocamento ocorre sem variação na velocidade, pois F e f são iguais em magnitude e opostas em direção, o trabalho resultante feito sobre o sistema é zero. Se o trabalho resultante é zero, como justificar o aumento da temperatura na caixa? (ARONS, 1999, p. 1064).

Esse exemplo ilustra bem as limitações da perspectiva conceitual adotada em muitos dos manuais universitários. O teorema trabalho-energia, embora seja “um ponto de partida razoavelmente perfeito” (ARONS, 1999, p. 1064) possui uma sutileza que, *necessariamente*, deve ser explorada.

O problema é que $f\Delta S$ não é uma quantidade de trabalho ou energia no sentido termodinâmico, mesmo apesar da quantidade $F\Delta S$ ser, de fato, trabalho termodinâmico realizado... Nem todo produto da força e deslocamento é, necessariamente, uma quantidade de trabalho, que é termodinamicamente conservado (ARONS, 1999, p. 1064).

Essa ausência de significado conceitual, ou seja, o tratamento do conceito como função, retardando as discussões do princípio de conservação

²⁶ No manual, os autores chegam a substituir ΔK por ΔE_{mec} .

da energia quanto à perspectiva de sua natureza, construção formal, perfis epistemológicos, só poderia ser parcialmente reparada com a introdução de energia interna no estudo de termodinâmica. É nesse momento que o futuro professor, ainda na condição de aluno universitário pode, ou não, perceber que a “dissipação por atrito é um processo adiabático no qual nenhum calor é transferido, embora ocorra mudança de temperatura” (ARONS, 1999, p. 1066).

1.4 O Conceito da Energia na História da Ciência

O exposto no subitem 1.1, chamada por nós de meta-discussão, em muito contribui para um melhor exame que, em geral, passa despercebido pelos investigadores diretamente envolvidos com o ensino de ciências. Tal meta-discussão não é, exatamente, o que podemos chamar de conceitos científicos. É uma reflexão sobre os conceitos e, em especial, sobre os conceitos científicos. Contudo, tal reflexão pouco será útil se não nos auxiliar na análise acerca dos conceitos a serem tratados nesta tese.

Sendo assim, ao considerarmos que as perspectivas filosóficas expostas no primeiro capítulo encontram-se num domínio acima dos conceitos científicos, voltaremos nossa atenção agora para a discussão dos conceitos científicos. Para isso, apresentaremos, nesse segundo capítulo, um recorte da construção histórica do desenvolvimento do princípio de conservação da energia e do conceito da energia. Não fizemos disso um estudo historiográfico, embora tenhamos nos esforçado para evitar desvios ingênuos.

1.4.1 O Princípio de Conservação da Energia

Se há alguma certeza no que diz respeito ao desenvolvimento histórico do princípio de conservação da energia é aquela que se refere à grande quantidade de evidências surgidas durante o século XIX. Excluindo-se essa certeza o que se percebe é um verdadeiro quebra-cabeças com poucas peças montadas, outras sobre a mesa e outras que ainda se encontram escondidas “embaixo do tapete”.

Partindo dessa analogia, podemos considerar como peças sobre a mesa os trabalhos que dão destaque ao princípio de conservação da energia como descoberta simultânea (KUHN, 2011), aqueles que tratam das particularidades

e interesses dos cientistas da época envolvidos com o tema (KIPNIS, 2013; KUHN, 2011; COELHO, 2009; SARTON, 1929; DUGAS, 1988) e daqueles que mencionam o papel de destaque dos dados empíricos (KIPNIS, 2013; KUHN, 2011; SARTON, 1929; DUGAS, 1988).

É fato que a *vis viva* tenha desempenhado papel de relevância durante o processo de desenvolvimento do princípio de conservação da energia, mas há, pelo menos, outros quatro aspectos que possibilitaram esse desenvolvimento durante o século XIX:

- O conhecimento dos diversos processos de conversão;
- Os vários trabalhos publicados entre, aproximadamente, 1830 e 1845, de maneira independente por diversos pesquisadores;
- O relato da existência de uma relação quantitativa entre os processos de conversão, principalmente no que diz respeito ao trabalho mecânico e calor, decorrente, na maioria das vezes, dos trabalhos baseados em dados empíricos;
- O grande interesse na maximização do rendimento das máquinas.

Contudo, “a maioria das histórias ou pré-histórias da conservação da energia insinua que o teorema para conservação da energia foi a *vis viva*” (KUHN, 2011, p. 106), desconsiderando a relevância do conceito de trabalho mecânico publicado em 1783, em forma de ensaio, por Lazare Nicolas Marguerite Carnot (1753-1823).

Tendo como subsídios duas fontes primárias e algumas fontes secundárias, descrevemos, a seguir, os argumentos utilizados por L. Carnot e Joseph Louis Lagrange (1736-1813) durante a construção do conceito de trabalho.

1.4.1.1 Lazare Carnot e o Conceito de Trabalho

No esforço para a construção do conceito de trabalho, L. Carnot fundamenta sua argumentação em duas posições distintas: 1) a força aplicada às máquinas com a finalidade de superar suas resistências; 2) o aparente descuido da mecânica em não examinar “as primeiras causas que produzem

movimento, [...] olhando somente o resultado do fenômeno, considerando somente o movimento produzido” (L. CARNOT, 1975, p. 163).

A primeira posição é chamada de forças moventes – *motive forces* – e decorreriam do emprego de forças externas obtidas, seja da exploração dos recursos disponíveis na natureza, como corrente ou queda d’água, vento, vapor d’água pelo efeito do calor, seja do emprego da força dos homens ou animais. Para L. Carnot, tais agentes são chamados de “movedores” (L. CARNOT, 1975).

Já a segunda posição é a que ele usará como tese de defesa ao demonstrar a equivalência existente entre a *vis viva*, representada por mv^2 , e a *vis viva latente*, representada por PH . O que se percebe, porém, não é uma preocupação em investigar, verdadeiramente, a causa dos movimentos, de acordo com sua natureza, mas uma equivalência entre a ação exercida por diferentes movedores. Em outras palavras, a preocupação de L. Carnot era de determinar a equivalência existente entre o esforço realizado, por exemplo, entre um cavalo e um homem ou entre um cavalo e o movimento gerado numa queda d’água.

Tal envolvimento com questões práticas foi fundamental e é, a partir dela, comparando as forças exercidas pelos agentes movedores e a força peso, que segue na construção do conceito de trabalho ao afirmar que “experiências mostram, como nós observamos, que homens, animais, e outros agentes podem exercer forças comparáveis com o peso...” (L. CARNOT, 1975, p. 163).

Em sua segunda comparação, tomando novamente o peso como referência, entre a força exercida por um homem e a exercida por um cavalo, estabelece a relação entre duas grandezas de seu interesse: altura e peso,

... desse ponto de vista, para atingir uma avaliação precisa como no caso anterior, nós podemos ainda comparar o resultado do trabalho realizado com o efeito do peso. Para isso é natural avaliar esse trabalho ou pelo peso levantado num tempo dado ou numa altura para que o peso seja levantado (L. CARNOT, 1975, p. 163).

A fim de reforçar sua defesa, continua,

Isso é que se entende quando é dito que um cavalo é igual, tanto quanto é sua força em questão, a sete homens. Isso não significa dizer que se sete homens puxarem numa direção e o cavalo na direção oposta haveria equilíbrio. Deve-se dizer, em vez disso, que o trabalho constante realizado pelo cavalo para levantar uma quantidade de água do fundo de um poço de determinada profundidade será o mesmo daquele realizado por sete homens juntos no mesmo tempo (L. CARNOT, 1975, p. 163).

No mesmo parágrafo, porém mais adiante, estabelece uma relação de proporção entre altura e peso:

Essa nova forma de olhar para a força é, então, pelo menos, tão natural e tão importante quanto a primeira. E como faz sentido dizer que para levantar um peso de 100 kg à uma altura de 1000 metros, nesse método de avaliação de força, representa o mesmo um peso de 200 kg à uma altura de 500 metros, segue que as forças a partir desse ponto de vista devem ser consideradas em proporção direta ao peso e a altura a ser levantado [...]. É sobre isso que a noção de *vis viva* é baseada (L. CARNOT, 1975, p. 164).

Esse conjunto de citações auxilia a perceber os argumentos de natureza prática que Lazare Carnot utiliza para validar a relação existente entre a força peso e a altura, num sentido muito próximo do que, hoje, reconhecemos como o conceito de trabalho. Outro argumento que L. Carnot utiliza para validar seu achado é a *autoridade* já estabelecida do conceito de *vis viva*.

A seguir, resume suas convicções numa expressão matemática, em que prova seu estreito vínculo com a *vis viva*,

Seja M uma massa e P seu peso. Seja g a aceleração da gravidade, dt o elemento de tempo, e H a altura que P foi levantado. Como consequência dessa nova maneira de ver as forças, a força empregada para levantar P numa altura H será PH . Mas uma vez que H é o espaço transversal, pode ser expresso como o produto da velocidade V e o tempo T . Nesse sentido, temos,

$$P = gM = \frac{g \cdot dt \cdot M}{dt} \quad (18)$$

Mas $g \cdot dt$ é a velocidade V' , então,

$$PH = \frac{MV' T}{dt} \quad (19)$$

Uma vez que dt e T são duas quantidades homogêneas, PH será o produto da massa multiplicado pelo produto das duas velocidades ou o quadrado da velocidade média proporcional a velocidade de V e V' [...]. Nós temos aqui a origem natural da noção de *vis viva* (L. CARNOT, 1975, p. 164).

A esse novo termo, PH , associado à *vis viva*, L. Carnot dá o nome de *vis viva latente* que, em termos atuais, é muito próximo do caso particular em que a energia potencial gravitacional de um corpo se iguala à sua energia cinética.

Esta preocupação prática no que se refere ao uso do conceito de trabalho por Carnot é também mencionada na nota de rodapé 46 de *Tensão Essencial* de Kuhn (2011, p. 109), onde é possível ler:

O tipo de qualidade a que dei o nome de ‘momento de atividade’ desempenha um papel muito extenso na teoria das máquinas em movimento, pois é, em geral essa quantidade que se tem que economizar o mais possível para que derive de um agente [isto é, de uma fonte de potência] sob efeito de que é capaz (L. CARNOT apud KUHN, 2011, p. 109).

Dugas e Costabel (1960, p. 53), em tom de exagero com relação ao ineditismo da questão, parecem confirmar tal preocupação ao afirmarem que “Carnot foi o primeiro a proclamar o caráter experimental dos princípios da mecânica, isso em oposição às ideias professadas por Euler e d’Alembert” (DUGAS e COSTABEL, 1960, p. 53).

Outra personagem envolvida com o conceito de trabalho foi J. L. Lagrange que, na segunda versão de *Mécanique Analytique*, demonstra a existência do conceito à partir de uma das aplicações de sua fórmula geral da dinâmica. Contudo, a argumentação utilizada por Lagrange no processo de construção do conceito de trabalho é, como o nome da obra sugere, analítico ao invés de prático. Vejamos como isso ocorre.

1.4.1.2 Equação Geral da Dinâmica e o Conceito de Trabalho em Lagrange

Publicado inicialmente em 1788, a obra *Mécanique Analytique* traz consigo um afastamento da geometria ao privilegiar um estudo analítico das propriedades do equilíbrio e do movimento. Esse estilo matemático usado por Lagrange é claramente percebido, como nos chama atenção Dugas e Costabel (1960),

Não se encontrarão quaisquer figuras nesta obra. Os métodos que eu exponho não exigem construções nem raciocínios geométricos ou mecânicos, mas apenas operações algébricas submetidas a uma marcha regular e uniforme... (LAGRANGE apud DUGAS e COSTABEL, 1960, p. 54).

Nesse novo estilo, Lagrange divide a *Mécanique Analytique* em duas partes. Na primeira delas, também chamada 'A Estática', retoma os princípios, propriedades e métodos para, a seguir, apresentar a equação geral da estática validada nas soluções de diferentes problemas que se propõe demonstrar a título de aplicações. É, também nessa primeira parte, que Lagrange discute os princípios da hidrostática, do equilíbrio dos fluídos não compressíveis e do equilíbrio dos fluídos compressíveis e elásticos.

Na segunda parte, ou 'A Dinâmica', retoma temas da dinâmica e da hidrodinâmica dividida em nove seções, apresentando a equação geral da dinâmica, na seção II, como versão estendida de sua equivalente da estática.

Por sua precoce publicação, com relação aos ensaios publicados por L. Carnot cinco anos antes, esta versão de *Mécanique Analytique* não trata explicitamente do conceito de trabalho. Contudo, ao reescrever a segunda versão, publicada em 1811, Lagrange demonstra a existência desse conceito como consequência direta da equação geral da dinâmica.

Como se trata do mesmo conceito, elaborado através de duas vias distintas, interessa-nos aqui trazer algumas passagens, em recorte, dessa construção conceitual presente na versão de 1811.

É na seção II, da segunda parte, intitulada por *Fórmula Geral da Dinâmica para o Movimento dum Sistema de Corpos Animados por Forças Quaisquer*, que Lagrange desenvolve a expressão geral da dinâmica. Justificando a inserção de termo a termo no decorrer dos parágrafos, alterna entre símbolos e respectivos significados até que a expressão

$$S\left(\frac{d^2x}{dt^2}\delta x + \frac{d^2y}{dt^2}\delta y + \frac{d^2z}{dt^2}\delta z\right)m + S(P\delta p + Q\delta q + R\delta r + etc)m = 0 \quad (20)$$

seja apresentada como “fórmula geral da dinâmica para o movimento de um sistema de corpos quaisquer” (LAGRANGE, 1811, p. 251).

Cabe aqui destacarmos os significados dos símbolos utilizados por Lagrange com as respectivas justificativas nessa articulação operacional. O primeiro membro é obtido através de considerações de acréscimos de velocidades $d\frac{dx}{dt}, d\frac{dy}{dt}, d\frac{dz}{dt}$ divididas por dt representando as forças aceleradas “multiplicadas pela massa m do corpo sobre o qual atua” (LAGRANGE, 1811, p. 247).

Após empregar a “característica ordinária d para representar as diferenciais relativas ao tempo” (LAGRANGE, 1811, p. 250), denotada por δ e utilizar S ao referir-se à integração, é possível chegar a

$$S\left(\frac{d^2x}{dt^2}\delta x + \frac{d^2y}{dt^2}\delta y + \frac{d^2z}{dt^2}\delta z\right)m. \quad (21)$$

Para o outro membro, Lagrange denota por P, Q, R etc as forças aceleradoras e por p, q, r etc as distâncias retilíneas de cada um dos corpos ao centro que tais forças atuam (LAGRANGE, 1811, p. 250). Já as diferenciais

$\delta p, \delta q, \delta r$ etc representarão as variações das linhas p, q, r etc provenientes das variações $\delta p, \delta q, \delta r$ das coordenadas x, y, z do corpo m ; mas como as forças P, Q, R etc devem diminuir essas linhas, suas velocidades virtuais devem ser representadas por $-\delta p, -\delta q, -\delta r$ etc cujos momentos das forças mP, mQ, mR etc serão expressas por $-mP\delta p, -mQ\delta q, -mR\delta r$ etc (LAGRANGE, 1811, p. 250-251).

A soma desses momentos é representada por $-S(P\delta p + Q\delta q + R\delta r + \text{etc})m$ correspondendo ao segundo membro da equação geral.

Através dessa fórmula geral da dinâmica, Lagrange demonstra uma série de deduções, dentre as quais estão a *vis viva* (LAGRANGE, 1811, p. 290), o princípio da mínima ação e o conceito de trabalho (LAGRANGE, 1811, p. 292) ao tomar a equivalência entre os termos $\int P_i dp_i$ ($SP_i \delta p_i$) para choques

elásticos com termos $S \frac{d^2x}{dt^2} \delta x m + etc$ (LAGRANGE, 1811, p. 292). Por fim, Lagrange afirma ser “esse o teorema que M. Carnot²⁷ encontrara no choque dos corpos elásticos” (LAGRANGE, 1811, p. 292)²⁸.

A partir dessas duas considerações e de suas diferentes construções do conceito de trabalho, falta-nos, agora, apresentar outros aspectos que tiveram alguma influência no desenvolvimento do princípio de conservação de energia.

1.4.1.3 Os processos de conversão e a busca pela equivalência entre Trabalho Mecânico e Calor

Começamos por tratar dos processos de conversão já conhecidos, ou descobertos, no século XIX. Esses processos tratavam de estudos tidos, até então, como independentes ao envolver fenômenos elétricos, magnéticos, térmicos, mecânicos confluindo, pouco a pouco, para uma espécie de percepção coletiva ‘velada’ de coincidências que poderiam pertencer a uma mesma manifestação da natureza.

Segundo Thomas Kuhn (2011), em 1820, Hans Christian Ørsted (1777-1851) identificou efeitos magnéticos a partir da corrente elétrica; o magnetismo, por sua vez, era capaz de gerar movimento. Já se sabia, por outro lado, que o movimento produzia eletricidade por atrito. Em 1822, Thomas Johann Seebecki (1770-1831) demonstra que o calor aplicado a um par bimetálico produzia corrente. Nesse período já se sabia das experiências de Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827), com a invenção da pilha, em 1800, na qual a corrente elétrica produzia calor e luz; que também sabia que tal corrente era obtida à custa das forças de afinidade química.

²⁷ Lagrange refere-se, aqui, à L. Carnot como Monsieur Carnot (M. Carnot).

²⁸ Kuhn chama atenção para essa relação entre a preocupação prática, voltada para a engenharia, de L. Carnot e a demonstração analítica de Lagrange. Num pequeno trecho da nota de rodapé 45, de *Tensão Essencial*, é possível ler: “... Para um relato mais completo do problema de engenharia abordado por Carnot, ele [Lagrange] dá como referência a seus leitores sua própria *Théorie des fonctions analytiques*, 1797, p. 399-410, em que sua versão do problema de [L.] Carnot é formulada de maneira mais explícita. Tal formulação torna o impacto da tradição na engenharia muito aparente, pois o Conceito de trabalho começa agora a aparecer. Lagrange afirma que acréscimos da *vis viva* entre dois estados dinâmicos do sistema é dado por $2(P) + 2(Q) + \dots$, em $(P) - \text{Lagrange denomina 'aire'}$ – $\sum_i \int P_i dp_i$, e P_i é a força

no i-ésimo corpo na direção das coordenadas de posição p_i . Os ‘aires’ são, é claro, apenas trabalho” (KUHN, 2011, p. 108).

Kipnis (2013) chama atenção para que no período da década de 1820 “as teorias específicas eram baseadas em dados empíricos para certos tipos de máquinas” (KIPNIS, 2013, p. 3). Thomas Kuhn é outro que chama atenção às coincidências ao escrever que “havia uma multidão de experimentos e concepções qualitativas relacionadas tão de perto à conservação da energia que, coletivamente, fornecem quase um segundo caminho até ela” (KUHN, 2011, p. 105)²⁹.

Kuhn (2011) se refere àqueles que, de alguma forma, investigaram os processos de conversão como “pioneiros” ao publicarem suas descobertas num período muito próximo e, quase sempre, sem que um soubesse das descobertas dos demais. Ainda que hoje, para nós, isso soe estranho, há de se ressaltar que tais trabalhos raramente apresentaram relações comuns entre eles, à exceção de processos de conversão.

Esses “pioneiros” somariam mais de uma dezena, tornando impossível uma descrição de todos aqui, mesmo que brevemente. Contudo, vale mencionar alguns que tiveram papel de destaque para esse conceito que unificaria os diversos estudos independentes. Julius Robert von Mayer (1814-1878), Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832), Benoit Paul-Émile Clapeyron (1799-1864), Willian Thomson (1824-1907), Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888) e James Prescott Joule (1818-1889) merecem destaque.

Mayer representa um grande esforço, talvez por seu pouco conhecimento físico, a fim de justificar suas crenças acerca da conservação. Segundo Sarton (1929), seu *insight* deu-se através de dados experimentais de outros cientistas elaborando teoricamente, a partir daí, a existência de uma relação invariável entre calor e trabalho (SARTON, 1929, p. 21). Compara suas explicações com a conservação da *vis viva*, mv^2 , que a seu ver se conserva tendo como causa a força peso que se converte na força dessa *vis viva*.

S. Carnot buscava a generalização do equivalente mecânico do calor com intenção de calcular o máximo equivalente do calor teoricamente. Supôs que a quantidade de calor transferido durante o ciclo era proporcional à diferença de temperatura entre os corpos quente e frio. Considerou uma

²⁹ Já as diversas possibilidades de conversão forneceriam um primeiro caminho.

máquina ideal que usava um processo reversível de vapor d'água (ou gás) durante a expansão e compressão e deduziu, baseando-se na impossibilidade do *perpetuum mobile*, que o máximo trabalho produzido nesse ciclo não poderia ser aumentado por nenhum outro processo (KIPNIS, 2013, p. 3).

Clapeyron deu às ideias de S. Carnot uma expressão matemática mais elegante, em particular, atribuindo uma expressão gráfica ao ciclo de S. Carnot, que deixou mais claro o cálculo do trabalho produzido durante um ciclo (KIPNIS, 2013, p. 3).

W. Thomson publicou, em 1849, um artigo que popularizou a teoria de Carnot oferecendo a ela sua própria contribuição (KIPNIS, 2013, p. 5). Modificou um pouco as expressões matemáticas de Clapeyron desenvolvendo um pouco mais a tendência exibida por Carnot e Clapeyron para conectar a teoria ao trabalho prático com as máquinas à vapor (KIPNIS, 2013, p. 5-6). A questão que havia por trás era: quanto calor pode produzir quanto trabalho? O que se imaginava era que todo calor criaria uma quantidade igual de trabalho equivalente.

Tal ideia de equivalência entre calor e trabalho também foi tratada por outros cientistas como, por exemplo, Clausius que ao não recusar tal ideia por completo assume que,

É bastante possível que na produção de trabalho [...] uma certa porção de calor pode ser consumida, e uma porção adicional transmitida de um corpo quente para um corpo frio; e que ambas porções podem estabelecer uma relação definida para uma quantidade de trabalho produzida (CLAUSIUS apud KIPNIS, 2013, p. 9)

Joule foi outro cientista que dedicou esforço para determinar o equivalente mecânico do calor. Diferentemente de Mayer, afirmava que tal equivalência não poderia ser estabelecida teoricamente (SARTON, 1929, p. 21). Joule teve grande influência em direção a uma versão mais robusta do teorema da conservação da energia através da interligação que estabelece com outros “pioneiros” (KUHN, 2011, p. 100). Através de investigações experimentais realizadas ao mesmo tempo, mas de maneira independente, confirmou e completou as descobertas de Mayer. Sua preocupação com medidas precisas fez com que minimizasse efeitos e interferências ao utilizar

métodos cada vez mais cuidadosos para determinar o equivalente mecânico do calor (SARTON, 1929, p. 21).

Com efeito, “aqueles que lograram êxito em quantificar o coeficiente de conversão, a exceção de Mayer, estavam envolvidos diretamente com máquinas e para realizar seus cálculos, precisavam do conceito de trabalho” (KUHN, 2011, p. 111). Já “Joule, Mayer e Helmholtz, por exemplo, fornecem uma subestrutura quantitativa completa para a concepção ‘leiga’ da correlação das forças vivas” (KUHN, 2011, p. 105).

Essa nossa breve descrição de alguns dos cientistas que, de alguma maneira, investigaram a conservação da energia, sem ainda se darem conta do teorema que viria mais adiante, traz à tona algumas das preocupações que os envolviam na época. O principal deles era o de determinar a relação entre o trabalho mecânico e o calor.

1.4.2 Considerações

O recorte do quadro conceitual do princípio de conservação da energia, presente nos manuais de ensino universitário, apresenta um distanciamento daquele apresentado durante a construção histórica do princípio de conservação de energia. Tal distanciamento é necessário e, portanto, era esperado. Contudo, o distanciamento existente entre o aspecto epistemológico do conceito, enquanto *constructo* racional, tal qual engendrado cientificamente e o apresentado nos manuais é muito grande. Isso não significa afirmar que os conceitos apresentados nos manuais estejam invalidados, mas é necessário que sejam repensados de modo que se considere um caminho didático-epistemológico que dê significação aos conceitos. Parece-nos que, uma das possíveis origens para o desvirtuamento dos conceitos tratados nos manuais é o fato de considerarem todos eles [os conceitos] numa única perspectiva, sendo que, para nós, a perspectiva assumida é a dos conceitos enquanto função. Assim, outros aspectos como a construção formal dos conceitos e o cuidado com os diferentes perfis epistemológicos dos conceitos é desconsiderado.

Revejamos, agora, o apresentado até aqui, desse segundo capítulo à luz da meta-discussão tratada no subitem 1.1. A intenção é destacar a estrutura

conceitual presente nesse recorte da construção histórica do conceito de energia considerando, em especial, a diferença de estrutura envolvida durante a construção do conceito de trabalho elaborado por L. Carnot e o elaborado por Lagrange.

1.4.2.1 Construção do Conceito de Trabalho

(A) L. Carnot

Motivado por questões de aplicações na engenharia, L. Carnot inicia suas argumentações a partir de observações práticas chamando de forças moventes aquelas exercidas por movedores, como, por exemplo, homens, cavalos e queda d'água. Tomando como referência a capacidade de tais movedores em levantar determinado peso, à determinada altura, num dado intervalo de tempo, elabora sua concepção do que seria o conceito de trabalho. Para validar, teoricamente, essa sua construção, articula-o com o já estabelecido conceito de *vis viva*. Escrevamos tal consideração utilizando o Diagrama 1, apresentado no subitem 1.1.1.3, ao tratarmos da construção dos conceitos formais por Granger:

Diagrama 3 – Representação da construção do conceito de trabalho por L. Carnot.

Parece-nos aqui que o perfil epistemológico do conceito de trabalho, de L. Carnot, encontra-se entre os níveis realista e racionalista, com prevalência do nível realista. O Diagrama 4 é uma possível representação dessa construção conceitual:

Diagrama 4 – Possível perfil epistemológico para o conceito de trabalho de L. Carnot.

(B) Lagrange

Diferentemente de L. Carnot, Lagrange não parte de observações práticas durante a construção do conceito de trabalho. Seu ponto de partida é a *Fórmula Geral da Dinâmica*, apresentada por ele de maneira analítica. Da mesma maneira, analiticamente, chega a tal conceito como aplicação direta dessa fórmula. A partir do Diagrama 1, teríamos:

Diagrama 5 – Representação da construção do conceito de trabalho por Lagrange.

De maneira semelhante àquela utilizada para analisar o perfil epistemológico da construção conceitual do trabalho, de L. Carnot, podemos fazê-lo para a construção do trabalho de Lagrange. Nesse caso, parece-nos que há uma prevalência do nível racional comparado com o realista (Diagrama 6):

Diagrama 6 - Possível perfil epistemológico para o conceito de trabalho de Lagrange.

Embora ambos tenham em comum o fato de demonstrarem o conceito de trabalho, a forma (ou o *como*) constroem o conceito partindo de referentes muito distantes é o que fica evidenciado. Com ajuda de uma tabela, podemos simplificar ainda mais:

(A) L. Carnot

Referente	conceito
Peso, altura, tempo	trabalho

Tabela 1 – Referente de L. Carnot para o conceito de trabalho.

(B) Lagrange

Referente	conceito
Eq. Geral da Dinâmica	trabalho

Tabela 2 – Referente de Lagrange para o conceito de trabalho.

Uma terceira diferença entre a construção conceitual de ambos diz respeito ao significado que pode ser atribuído ao conceito de trabalho desenvolvido por ambos. Enquanto que para L. Carnot o significado do novo conceito tem estreito vínculo com forças movedoras no sentido produtivo, de ‘ter capacidade’ de levantar um ou atuar num corpo; para Lagrange, o conceito traduz uma capacidade estendida além daqueles que L. Carnot chama de movedores, quase próximo à uma formulação geral ou realidade ‘escondida’. Nesse sentido, podemos dizer que, além de diferirem quanto ao referente,

quanto à construção, também diferem quanto à amplitude do significado. Pode-se aqui recorrer ao que Wittgenstein trata, em jogos de linguagem, como um retrato sem a nitidez necessária para que pudéssemos enxergá-lo em todos os detalhes.

1.5 O Conceito de Energia e o Ensino de Física

Se, por um lado, o processo de construção histórica do princípio de conservação da energia e, por extensão, o conceito de energia, ainda não seja totalmente esclarecido por parte dos historiadores e filósofos da ciência; por outro, seria de se esperar que essas controvérsias históricas e filosóficas não migrassem para os materiais didáticos, já que se trata de uma versão deslocada, temporalmente, do contexto histórico de produção. Porém, o que sabemos hoje é que há, também no ensino de ciências, e nos materiais didáticos, um quadro bastante nebuloso no que diz respeito ao ensino e aprendizagem do princípio de conservação de energia, resultado da sua didatização. Por esse motivo, propomo-nos aqui a apresentar algumas discussões existentes na área de ensino de ciências tratando do princípio de conservação da energia.

1.5.1 Exposição sucinta da literatura

Tido como quadro conceitual de difícil aprendizagem, o princípio de conservação da energia, e o conceito da energia, é tema recorrente na área de ensino de ciências. Por meio de busca simples, em sítios acadêmicos³⁰, percebe-se investigações em diversas frentes, cobrindo interesses que vão desde a elaboração e implementação de materiais instrucionais àquelas que chamam atenção para o forte *viés* filosófico do conceito.

Levando em consideração o grande volume de trabalhos e nossos interesses de pesquisa, restringimos a revisão em quatro aspectos: 1) As Concepções Espontâneas do conceito de energia; 2) A Mediação do Professor e da Linguagem e o conceito de energia; 3) Os Materiais Instrucionais e o conceito de energia; 4) As Pesquisas Longitudinais.

³⁰ Periódicos CAPES (www.capes.gov.br), Scielo (www.scielo.org), Portal de revistas da usp (www.revistas.usp.br), Web of Science (webofknowledge.com), RedAlcy (www.redalcy.org), Portal Seer (seer.ibict.br) e Eric (eric.ed.gov).

1.5.1.1 As Concepções Espontâneas do Conceito da Energia

Pensar em aprendizagem de conceitos científicos remete-nos, quase que de imediato, a duas linhas de discussão bastante conhecidas da área de ensino de ciências. A primeira delas é aquela tratada por Vygotsky, em *Pensamento em Linguagem* (1995), ao chamar atenção para o papel central que os conceitos científicos exercem no desenvolvimento cognitivo durante a instrução formal do sujeito. Embora reconheça a importância de todos os conceitos durante a maturação intelectual nos primeiros estágios de vida, para Vygotsky os conceitos científicos seriam os verdadeiros conceitos a serem apreendidos e que, portanto, os que mereceriam ser investigados. Tendo como ponto de partida suas investigações com o aprendizado desses conceitos, Vygotsky, chega a conclusões muito interessantes. Dentre elas, destacamos a influência dos conhecimentos cotidianos que o sujeito possui ao tomar contato com o conceito científico.

A segunda linha de discussão que, pode-se dizer, é uma decorrência empírica da primeira, são as identificações dos conceitos prévios dos sujeitos. Tais conhecimentos prévios exerceriam forte resistência ao aprendizado dos verdadeiros conceitos e poderiam ser confrontados através de boas estratégias didáticas. Entretanto, “há, ainda hoje, divergências quanto a natureza do conhecimento prévio dos estudantes” (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 184).

No que diz respeito às divergências da natureza do conhecimento prévio, um artigo publicado em 2007, de autoria de Tatar e Oktay, traz uma revisão bastante sintética dos trabalhos sobre as concepções espontâneas científicas para o conceito de energia e sua conservação. Segundo os autores, as pesquisas apontam que as respostas de estudantes, para esse conceito, sofrem influência do uso do termo *energia* na vida diária. Outros exemplos de concepções científicas espontâneas para o conceito de energia é o fato dos alunos associarem “energia como uma substância que pode ser armazenada” (TATAR e OKTAY, 2007, p. 81) e “comida e combustível serem considerados como fonte de energia na qual a energia é armazenada” (TATAR e OKTAY, 2007, p. 81).

Esse tipo de associação, do conceito de energia com fontes e/ou substâncias, é recorrente durante as explicações dos alunos para uma classe de situações. Além delas, a literatura listou outras associações, também recorrentes, para questões relativas ao conceito de energia que foram organizadas em algumas categorias. Algumas das categorias adotadas não parecem ser consensuais, sendo que algumas delas podem constar numa investigação e não em outras. Entretanto, inicialmente, as categorias assumidas como consensuais para a comunidade somavam sete e foram, posteriormente, sintetizadas em cinco (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 192), que reproduzimos abaixo:

i. Concepção antropocêntrica: a energia aparece associada somente com objetos vivos. **ii. Energia armazenada ou vista como agente causal em certos objetos (depósito):** um modelo de depósito para energia que pressupõe a existência de objetos capazes de armazenar (dentro de si) a energia necessária para provocar mudanças em outros objetos que possam recebê-las. [...]. Há corpos que possuem energia (depositários) e podem ser recarregados, os que absorvem energia e gastam o que conseguem obter (alta atividade) e também aqueles cujo nível de atividade é dito como 'normal' (média atividade). **iii. Associada a força e movimento:** Alguns estudos revistos pelos autores mostram que é comum estudantes utilizarem os termos força e energia como sinônimos e que, quando são capazes de diferenciá-los, fazem-no de forma a manter uma relação entre ambos. Os autores afirmam que há uma vinculação muito forte quando se analisam as noções de energia, força e movimento... **iv. Energia como combustível:** Essa concepção parece estar associada ao conhecimento de senso comum a respeito de um esgotamento futuro das fontes de energia utilizadas pelo homem. **v. Fluido, um ingrediente ou produto:** O raciocínio embutido nessa concepção é o de que energia é algo que pode ser contido, armazenado, transportado, cedido, conduzido. A energia é pensada como algo que pode fluir de um corpo a outro como algo latente, que está 'adormecido' dentro de certos objetos e que pode se manifestar na presença de algum mecanismo de disparo (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 193-195).

Embora essas categorias estejam associadas ao conceito, em decorrência da influência da vida cotidiana, é possível perceber que o mesmo ocorre quando se pensa nos processos que envolvem os conceitos. Isso significa dizer que, para o exemplo do conceito de energia, os alunos manifestam concepções científicas espontâneas tanto o conceito em si quanto para seu princípio de conservação. Dessa forma, Tatar e Oktay (2007, p. 79) mencionam que as pesquisas chamam atenção para o fato de os alunos utilizarem como sinônimos a noção de *conservação* de energia e a noção de

economia de energia através das influências das informações cotidianas como, por exemplo, as informações veiculadas pelos meios de comunicação (TATAR e OKTAY, 2007, p. 79).

A influência do uso de “formas de energia’ da linguagem e da vida cotidiana, como a energia dos alimentos, a energia humana, a energia molecular...” (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 202) por adultos escolarizados e pela mídia sobre os estudantes também é mencionada por Barbosa e Borges (2006). Essas formas, com pouco significado científico, atuam como organizadores do conhecimento dos alunos sem ter, em contrapartida, a devida distinção ou uso das formas com significação na ciência. Segundo os autores,

...observa-se o escasso uso e quase completo desconhecimento de outras formas de energia valorizadas pela ciência escolar, mas pouco utilizadas em situações cotidianas e na mídia, como por exemplo, a energia potencial elástica ou gravitacional ou química... (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 202).

Contudo, essa confusão e uso indiscriminado do conceito de energia, e o princípio de conservação, também sofrem influência dos conteúdos estudados na escola. Segundo a revisão da literatura de Tatar e Oktay (2007), pesquisas realizadas ainda na década de 1980 verificaram que para os alunos explicarem o processo de combustão recorreriam aos conhecimentos de química (reações químicas), à percepção de que, na queima, ocorre diminuição da massa (da madeira, do papel etc), ao conhecimento que possuem de que, em nível atômico, a velocidade dos elétrons é c e da equação $E = mc^2$ (por ser facilmente lembrada) para justificarem o princípio de conservação de energia (TATAR e OKTAY, 2007, p. 80).

1.5.1.2 A Mediação do Professor e da Linguagem e o Conceito da Energia

Embora se verifique que a instrução formal favoreça a mobilização do conceito de energia, e até mesmo uma possível articulação conceitual desvirtuada, é a escola que deve apresentar as primeiras noções formais desse conceito. Segundo Barbosa e Borges (2006), numa experiência envolvendo uma bola num trilho em U, antes de qualquer instrução formal sobre o conteúdo de energia,

apenas 2% dos estudantes com idade entre 12-14 anos o fazem com base em transferência de energia. Em nenhum momento é mencionada qualquer ideia que esteja relacionada à transformação de energia. Depois da unidade sobre energia, esse percentual sobe para 17% e apenas 10% mencionam conservação de energia (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 195).

Nesse contexto em que se encontram, por um lado as pesquisas que tratam das concepções científicas espontâneas do conceito de energia, por outro as influências das informações veiculadas cotidianamente (sejam adultos escolarizados, a mídia e até mesmo a escola) e, por outro, da própria natureza abstrata do conceito, é que se colocam as investigações que tratam da aprendizagem do conceito de energia, sua conservação e degradação. Seja no sentido de identificar os modelos mentais no que se refere ao conceito de energia, seja no sentido de explorar a dificuldade de aprendizagem, seja no sentido de examinar a eficácia da introdução de materiais instrucionais diferenciados para esse conceito, é que alguns pesquisadores da área direcionam suas pesquisas com diferentes estratégias e metodologias na investigação desses aspectos durante a instrução formal.

Barbosa e Borges (2003) apresentaram investigação realizada para identificação da evolução dos modelos mentais de alunos do primeiro ano do ensino médio durante um conjunto de aulas tratando do conceito de energia. Dividida em três fases, os pesquisadores categorizaram, na primeira fase, as respostas dos 38 alunos, de acordo com a relação estabelecida entre 21 figuras apresentadas a eles e a modalidade de energia associada; foram utilizadas seis categorias já conhecidas das pesquisas sobre concepções científicas espontâneas acrescidas de mais quatro pelos autores, num total de dez. A segunda fase ocorreu através de debates em sala de aula, seguida por entrevistas com seis alunos voluntários divididos em dois grupos de três. Nessa fase, todos os alunos debatiam os conceitos em sala de aula privilegiando a mediação aluno-aluno, com pequenas interferências dos adultos (do professor ou do pesquisador); para depois, em grupos de três alunos, serem entrevistados pelo pesquisador. Na terceira fase foi realizado um teste final, com quatro questões, para o qual os autores relatam o caso de um aluno que, ao que parece, passa

a compreender razoavelmente a transformação da energia como uma propriedade associada ao conceito, enquanto que a propriedade da conservação não parece estar clara (BARBOSA e BORGES, 2003, p.12).

Numa linha metodológica próxima da utilizada por Barbosa e Borges, numa série de encontros mediados e registrados em vídeos, Carvalho e Villani (1996) verificaram a compreensão e articulação dos Princípios de conservação da Quantidade de Movimento e de conservação da energia. Em sessões individuais apresentaram a seis alunos do ensino médio alguns experimentos envolvendo situações de colisões para, a seguir, realizarem uma entrevista sobre os conceitos relacionados a essas situações. As evidências permitiram que os autores percebessem a grande dificuldade na articulação, por parte dos alunos, dos conceitos tratados já que se utilizavam de um ou outro conceito sem que fizessem relação entre ambos.

A fim de verificar a influência da instrução formal para o aprendizado do conceito de energia, modalidade energia mecânica, Llancaqueo Henriquez, Jiménez-Gallardo e Diaz-Pinto (2013) também se interessaram em acompanhar, por um ano, a evolução do pensamento de 125 estudantes do primeiro ano de engenharia na disciplina de física geral no Chile. Chamado por eles de estudo exploratório, coletaram dados antes e após os conteúdos de física geral serem trabalhados. A partir de categorizações privilegiando a aproximação ou afastamento dos conceitos científicos, perceberam que, em geral, categorias visando representação (gráficos, desenhos etc) e resolução tiveram incremento de 0,20 pontos (numa escala de 0 a 1) no desempenho dos estudantes, enquanto que a categoria classificação não sofre alterações. Utilizando a teoria dos campos conceituais como referencial teórico, sugerem haver forte influência das representações como linguagem simbólica no aprendizado.

1.5.1.3 Os Materiais Instrucionais e o Conceito de Energia

A influência dos materiais instrucionais é um dos aspectos mais importantes a ser considerado, seja no que se refere ao aprendizado de ciências, seja no que se refere à didática das ciências. Autores como Barbosa e Borges (2006) e Nordine, Krajcik e Fortus (2011) reconhecem este aspecto ao tratarem, respectivamente, do aprendizado e da elaboração de material

instrucional. Sabe-se que, qualquer que seja o material instrucional, deve considerar uma dimensão conceitual, contudo, no que se refere ao princípio de conservação tal consideração deve ser mais cuidadosa.

Em um levantamento realizado por Viggiano e Moura (2013), termos como *potência dinamica*, *efeitos mecânicos* e *força viva* (em alusão à *vis viva* ao invés de energia cinética) podiam ser encontrados em *Physica*, escrito pelo médico J. Langlebert em 1904. Segundo os autores, os conceitos eram “considerados separadamente da formulação matemática” (VIGGIANO e MOURA, 2013, p.5), e o conceito de energia tratado enfatizando-se, de certa forma, situações práticas (VIGGIANO e MOURA, 2013, p. 5). O livro *Physica*, de 1927, define energia como sendo “a força em exercício; é a capacidade de produzir certo trabalho” (FTD (*sic*) apud VIGGIANO e MOURA, 2013, p. 6). Já em *Física para a primeira série do curso científico*, de 1945, escrito por H. Zanello, não define explicitamente o conceito de energia, por não conhecê-lo, “a não ser por suas manifestações” (ZANELLO apud VIGGIANO e MOURA, 2013, p. 6). Ao invés disso, o livro de Zanello, enfatiza haver igualdade entre energia e trabalho, destaca a energia mecânica e define energia cinética e potencial (VIGGIANO e MOURA, 2013, p. 7).

Esse intervalo de tempo, de 40 ou 50 anos, entre o desenvolvimento histórico do princípio de conservação de energia (e o conceito da energia) e sua consequente aparição nos livros didáticos do início do século XX, talvez ajude a entender a forma pouco refletida que o conceito é apresentado nos manuais ainda hoje. Numa rápida folheada nas páginas dos manuais atuais, somos capazes de perceber uma perspectiva conceitual que, de acordo com nossa meta-discussão, privilegia aspectos do ‘conceito função’, desconsiderando as demais perspectivas conceituais. Talvez, por isso, à exemplo da categorização das concepções prévias dos alunos com o princípio de conservação e o conceito da energia, os manuais de ensino também apresentam concepções equivocadas, podendo reforçar, inclusive, as concepções prévias dos próprios alunos (JACQUES e ALVES FILHO, 2008).

Conscientes da importância dos manuais de ensino e demais materiais instrucionais, para a aprendizagem do princípio de conservação da energia,

vários autores (NORDINE, KRAJCIK e FORTUS, 2011; SOLBES, GUISASOLA e TARÍN, 2009; RIZAK e KOKKOTAS, 2013; PÉREZ-LANDEZÁBAL, 2006, YANG, CHIEN e LIU, 2012; PAPADOURIS e CONSTANTINOU, 2011) desenvolvem e testam, cada um a sua maneira, sequências de ensino, desenvolvimento de aplicativos computacionais e estratégias e métodos para diversos níveis de instrução formal e faixas etárias.

Nordine, Krajcik e Fortus (2011) chamam atenção para o fato de que tanto o princípio de conservação da energia, quanto sua ampla aplicabilidade, serem frequentemente utilizadas de maneira superficial. Embora façam parte de um conteúdo onipresente nos tópicos das disciplinas de ciências, na escola, seu ensino ocorreria de forma desarticulada, privilegiando as aproximações com situações idealizadas. Essas aproximações, muitas vezes focadas em exercícios, segundo os autores, não seriam capazes de se alinhar com o conceito de energia como uma quantidade física abstrata. Posto isso, numa tentativa de aproximação das situações apreendidas formalmente em sala de aula com aquelas do dia a dia, Nordine, Krajcik e Fortus (2011) elaboraram e implementaram material didático voltado para o ensino fundamental, privilegiando situações que envolviam o princípio de conservação e degradação da energia. O material desenvolvido contou com 19 temas, organizado num conjunto de 6 aulas e sua implementação teve duração de 8 semanas em turmas do 8º, 9º, 10º e 11º anos, numa pequena escola independente localizada no meio oeste dos Estados Unidos. O desenvolvimento dos alunos foi avaliado por dois métodos: 1) comparando-se o desenvolvimento das concepções dos alunos da turma de referência com outra turma, submetida ao mesmo conteúdo, mas com o material tradicional através de testes imediatamente antes e imediatamente após sua implementação e; 2) em teste aplicado para verificar como os alunos lidam com os conceitos após um ano. De acordo com o primeiro método foi possível verificar que os alunos submetidos ao material instrucional inovador tiveram maior capacidade de lidar com situações cotidianas que envolviam energia do que os alunos do grupo de referência, valendo-se do princípio de conservação com mais cuidado e melhor organizado. Destacam, contudo, que embora os testes indiquem um ganho do desenvolvimento do grupo de testes com relação ao grupo de referência, não é

possível assegurar que um grupo tenha sido melhor aprendiz que o outro. Os autores ainda mencionam que os resultados da pesquisa refutam outros estudos relacionando a aquisição do conceito de energia com fatores da maturidade do sujeito.

Partindo das dificuldades dos alunos no que diz respeito ao reconhecimento da conservação de energia como um princípio unificador, assim como das dificuldades do uso dos conceitos de sua transformação, transferência e degradação, Solbes, Guisasola e Tarín (2009) desenharam e implementaram uma *Teaching Learning Sequences* (TLS) tratando, especificamente, do princípio de conservação e da degradação da energia. Entre os interesses colocados, inicialmente como questões norteadoras da investigação, pelos autores, estão aquelas que se referem ao como desenhar uma sequência que melhore o interesse dos alunos em aprender física e o que os estudantes aprendem após a implementação de uma sequência. A TLS foi pensada para alunos dos últimos anos do ensino médio da Espanha, 131 estudantes de 17 e 18 anos, de escolas estaduais em cidades de tamanho médio, considerando a distribuição de 3 horas de ensino em sala de aula e 1 hora de ensino em laboratório por semana. Para a elaboração da TLS os autores consideraram dois aspectos principais: 1) que a compreensão clara do conceito de energia implica reconhecer as transformações; 2) a necessidade do desenvolvimento de um modelo energético contendo a conservação de energia, descrita através da Primeira Lei da Termodinâmica, suas possíveis transformações e Degradações e, por último, suas aplicações tecnológicas e sociais. Para a implementação, os autores consideraram quatro aspectos principais, divididos em quatro fases: 1) propor um problema de interesse dos alunos, no caso dessa TLS, as implicações sociais da energia; 2) trabalho em pequenos grupos de alunos com a finalidade de levantar hipóteses e possibilidades criteriosas para a resolução do problema; 3) momento da mediação do professor baseado no desenvolvimento do trabalho dos alunos e; 4) relatório individual. A avaliação foi realizada dois meses após a implementação através de aplicação de questionário e entrevistas gravadas. Os autores compararam os resultados dos 131 estudantes – submetidos à implementação e chamados por eles de grupo experimental – com os

resultados de 168 estudantes – chamados por eles de grupo de controle foram orientados através dos livros textos padrões baseados em resolução de exercícios. Para os autores, há melhorias na compreensão do processo de transferência de energia e também melhorias na compreensão das formas de energia, tais como a energia cinética e potencial do grupo experimental em relação ao grupo de controle. Além disso, os resultados sugeriram que os estudantes do grupo experimental “...foram capazes de usar o conceito de energia como uma propriedade do sistema para aplicar a conservação da energia...” (SOLBES, GUIASOLA e TARÍN, 2009, p. 272) e que suas respostas permitiram, qualitativamente, uma aproximação com a segunda lei da termodinâmica sem mencionar, formalmente, o conceito de entropia.

Fazendo-se valer de aspectos qualitativos, Rizak e Kokkotas (2013) desenvolvem estratégia para o ensino do princípio de conservação e degradação numa abordagem que chamam de sócio-construtivista voltado para o ensino primário. Justificando a pouca compreensão dos estudantes, incorporam aspectos importantes e cruciais da História e da Filosofia das Ciências Naturais ao considerarem, por exemplo, que um mesmo conceito pode ter significações diferentes quando utilizado na mecânica de quando é utilizado na termodinâmica. O modelo de ensino proposto pelos autores poderia explicar diferentes fenômenos, considerando um suporte adequado do caráter unificador do conceito, assim como uma entidade que pode ser armazenado no sistema. Após os autores discutirem os aspectos controversos do desenvolvimento histórico do conceito de energia e o princípio de conservação afirmam que esperariam que “os estudantes desenvolvessem percepções com relação aos estágios do desenvolvimento do conceito, precisamente como eles ocorreram na Ciência” (RIZAK e KOKKOTAS, 2013, p. 1151). Os autores utilizam representações visuais por crerem que “o ensino de ideias não visíveis e abstratas poderia ser difícil para muitos estudantes sem um apoio visual” (RIZAK e KOKKOTAS, 2013, p. 1153). Foram utilizadas, como representações visuais, figuras geométricas numa correlação entre a forma geométrica e a intenção didática relacionada a algum momento do princípio de conservação da energia (triângulos representariam a fonte da energia; quadrados representariam o Processo de Conversão). Os estudantes

receberam 8 planilhas com as formas geométricas sendo, no momento seguinte, convidados a desenhar e conduzir experimentos apropriados de acordo com o que estava sendo investigado; mais tarde, explicavam o funcionamento do sistema físico e de que forma a energia era manifestada e compreendida no ato de acender uma lâmpada. Esse processo didático é chamado pelos autores de “estágio preparatório de uma hipotética introdução do conceito de energia” (RIZAK e KOKKOTAS, 2013, p. 1156). No final, os autores não chegam a apresentar implicações diretas de sua investigação para a aprendizagem, mencionando que as implicações do modelo utilizado poderia facilitar a compreensão do conceito em níveis mais baixos de ensino ao transformar um conceito abstrato em um conceito concreto.

1.5.1.4 As Pesquisas Longitudinais

Já com relação às pesquisas chamadas longitudinais ou *cross-grade*, Lee e Liu (2009) compararam as articulações de 2688 alunos do sexto, do sétimo e do oitavo ano do ensino fundamental matriculados em escolas de cinco Estados norte-americanos (Califórnia, Virgínia, Arizona, Massachussets e Carolina do Norte). A intenção dos autores era a de medir a progressão do aprendizado dos conceitos de energia em contextos que envolviam as ciências físicas, as ciências da terra e as ciências da vida. A finalidade do artigo era a de responder duas questões: 1) quais eram os níveis de articulação do conhecimento que os estudantes demonstravam sobre fontes de energia, transformações de energia e conservação da energia?; 2) como seus níveis de articulação difeririam de acordo com os níveis de ensino? Os dados foram coletados através de questões de múltipla escolha seguidas por questões abertas. Foram considerados cinco itens na análise de dados dentre os quais se encontravam a forma de energia envolvida na situação e o reconhecimento da conversão de uma modalidade de energia para outra. De acordo com os autores, observou-se que o nível de articulação dos alunos do oitavo ano é melhor do que os níveis de articulação dos alunos do sexto e sétimo anos e que, para os conteúdos de física, o nível de articulação é maior do que para os conteúdos de ciências da terra e ciências da vida. Segundo os autores, tais dificuldades estão parcialmente relacionadas à não integração curricular das diversas disciplinas que utilizam o conceito de energia – sendo a física a

ciência que mais contribuiria para o conhecimento integrado – e o fato dos estados possuírem estratégias e manuais instrucionais diferenciados não apoiariam aprendizados diferenciados.

Saglam-Arslam (2010) examina o desenvolvimento conceitual de 243 estudantes de 3 níveis diferentes de formação (160 alunos do ensino médio, 69 alunos do quarto ou quinto ano de graduação em licenciatura em física e 14 alunos de pós-graduação) em relação ao conceito de energia. O autor investigou o conhecimento dos estudantes para definir o conceito de energia e a capacidade que tinham para representar graficamente os conceitos de energia mecânica, potencial gravitacional e cinética para um corpo em queda livre. Os resultados indicam que há similaridades nas respostas dos estudantes, independentemente do nível, no que diz respeito à definição do conceito de energia e no que diz respeito às concepções espontâneas; ou seja, a definição da energia como sendo a capacidade de realizar trabalho é utilizada pelos alunos nos três níveis da formação assim como foi possível encontrar semelhanças nas respostas no que diz respeito às concepções espontâneas. Para o autor, a tendência de respostas dos estudantes para a definição de energia é como sendo “a capacidade de realizar trabalho” (SAGLAM-ARSLAM, 2010, p. 310). Ainda segundo Saglam-Arslam (2010), não há uma correlação linear entre o nível de formação e a capacidade dos sujeitos para a definição de energia e que o ensino desse conceito em diferentes níveis “não têm permitido que estudantes desenvolvessem uma definição autônoma que seja independente das disciplinas [...], mas têm tido um efeito positivo para a internalização da definição conhecida” (SAGLAM-ARSLAM, 2010, p. 311).

1.5.2 Comentários

Embora exista uma extensa literatura a respeito das concepções alternativas, o princípio de conservação da energia continua sendo pouco compreendido no que se refere à sua aprendizagem, aos métodos eficazes para seu ensino e à elaboração de materiais instrucionais nos diferentes níveis do ensino formal. Nesse sentido, concordamos com Barbosa e Borges (2006) ao afirmarem que “a literatura sobre o tema é extensa, mas pouco esclarecedora” (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 182).

Há várias perspectivas de investigação presentes, das quais destacamos aquelas preocupadas com a aprendizagem e aquelas preocupadas com desenvolvimento e implementação de materiais instrucionais. Se, por um lado, temos que reconhecer os avanços decorrentes de todo esse esforço; por outro, vale destacar os pontos que conduzem a novas questões.

No que se refere às pesquisas de aprendizagem, muito se avançou na identificação das principais dificuldades dos alunos nos vários níveis de instrução formal. Por outro lado, há poucos trabalhos que relatam o avanço da aprendizagem como, por exemplo, aqueles voltados para a aprendizagem longitudinal e aqueles voltados para a aprendizagem após a implementação de materiais instrucionais específicos para o ensino desse conceito. Contudo, quase nada podemos afirmar acerca de como ocorre o lento processo de apreensão dos conceitos durante a instrução formal.

Trabalhos como os de Saglam-Arslam (2010) e Lee e Liu (2009) apontam que o reconhecimento e a articulação do princípio de conservação da energia evoluem, ainda que não seja linearmente, de acordo com o momento da instrução formal no qual o sujeito se encontra. Essa informação, por si só, representa um avanço. Contudo, desses trabalhos, pode-se derivar a seguinte pergunta: Como ocorre esse processo? Nesse sentido, há que se investigar o sujeito no momento em que esteja atuando na resolução de exercícios ou problemas, mediados por pequenos questionamentos sem, no entanto, induzir explicitamente suas escolhas.

No que se refere aos materiais instrucionais, também percebemos avanço. De modo geral, todos aqueles que propõem a elaboração e implementação de material instrucional fazem-no com a finalidade de melhoria em algum aspecto. Sendo assim, somos obrigados a concordar, e reforçamos, sobre a importância de que se pesquisem materiais instrucionais voltados aos diversos níveis de ensino, privilegiando graus crescentes de abstração em estudos longitudinais abrangendo desde as séries iniciais até as séries finais do ensino formal. Esta seria uma pesquisa ampla, a ser desenvolvida por grandes grupos e longos períodos.

Porém, há que considerar possíveis desvios conceituais em relação ao princípio de conservação da energia, ou mesmo a respeito da sequência escolhida para apresentar o tema. Esses desvios são recorrentes nos manuais de ensino, como é o caso do desenvolvimento do teorema trabalho-energia, imerso conceitualmente nas discussões da dinâmica newtoniana e ‘validado’ pela tradição dos manuais de ensino para a termodinâmica através da força de atrito. Nesse sentido, autores como Nordine, Krajcik e Fortus (2011), Rizak e Kokkotas (2013) e Solbes, Guisasola e Tarín (2009) parecem estar atentos ao mencionarem e desconsiderarem alguns desses desvios conceituais durante a elaboração e implementação de seus materiais instrucionais e métodos. Ainda assim, entendemos que a discussão acerca da construção do conceito de Energia é bem mais ampla do que a apresentada nesses três trabalhos. Tomemos como exemplos o trabalho de Rizak e Kokkotas (2013) e Nordine, Krajcik e Fortus (2011).

O artigo de Rizak e Kokkotas (2013) justifica a necessidade de considerar a história e a epistemologia como fios condutores para o desenvolvimento de materiais e métodos voltados ao ensino do conceito de energia. Entretanto, percebe-se que as escolhas didáticas dos autores na sua investigação destoam das considerações epistemológicas presentes na introdução. Nesse caso, ao justificarem o uso de figuras para representar os tipos de energia ou os processos inerentes a eles para tornarem didático um conceito abstrato num conceito visualizável e, portanto, concreto ou empírico, acabam afastando a construção epistemológica do conceito daquele utilizado na intenção didática.

Nordine, Krajcik e Fortus (2011) chamam atenção para o fato de que nem o princípio de conservação da energia (natureza do conceito), nem sua ampla aplicabilidade (conceito-função) são utilizadas pelos estudantes de maneira integrada. Os autores consideram que uma das origens dessa pouca capacidade dos alunos encontra-se nos manuais de ensino. Contudo, ao lermos atentamente a sequência dos conteúdos presentes no material instrucional utilizado na pesquisa, percebemos que a primeira atividade proposta aos alunos é o reconhecimento dos tipos de energia para só depois

apresentarem as transformações (NORDINE, KRAJICK e FORTUS, 2011, p. 676, 677) numa ordem contrária àquela que deu origem histórica ao conceito.

No nosso entendimento, seja no primeiro exemplo, ao reduzir um conceito racional a um conceito empírico, seja no segundo exemplo, ao ensinar que a pilha possui energia Química ou algo do tipo antes de ensinar o processo de conversão, podem originar ou até mesmo reforçar concepções espontâneas. Contudo, há que se ressaltar dois aspectos centrais da construção do conceito de energia: (1) é um conceito racional; (2) não é um conceito com um referente imediato.

Isso significa admitir que o conceito de energia é um conceito 'invisível' e que não há correspondência real ao se afirmar que a modalidade de energia "presente" numa lâmpada acesa é luminosa. O que há, nesse caso, é um processo no qual determinada quantidade conhecida, presente nos fios em contato com a lâmpada coincide com a quantidade de luminosidade emitida pela lâmpada somada com determinada quantidade de energia que eleva a temperatura na vizinhança da lâmpada.

Dessa forma, alguns trabalhos identificados nos autores apresentados anteriormente destacam a investigação do princípio de conservação através da elaboração e implementação de materiais instrucionais acabam, no fundo, por recorrer às mesmas estratégias do que aqueles que eles próprios utilizam para justificar suas pesquisas.

Do ponto de vista de nossa meta-discussão essa possibilidade exploraria tanto a perspectiva da natureza do conceito, quanto sua construção formal. Num possível estágio avançado, poder-se-ia recorrer à construção matemática das conversões, explorando também aspectos da linguagem e uma melhor compreensão do papel unificador que o princípio de energia possui como conceito-função.

Capítulo 2 – Aspectos Metodológicos

Realizaremos, a partir desse capítulo, um desvio de objeto das discussões. Mostramos até aqui, a necessária reflexão filosófica acerca dos conceitos. Na sequência, lançamos mão de algumas perspectivas filosóficas, como resultado do antigo problema sobre a natureza do saber. Realizada tal defesa, trouxemos as idas e as voltas da construção histórica do princípio de conservação da energia, evidenciando a diferença da construção do teorema trabalho-energia realizada por L. Carnot e Lagrange à luz da meta-discussão apresentada no subitem 1.4.1.4.1.

Estando clara a distinção nos perfis epistemológicos das duas construções, passamos a olhar de que maneira o princípio de conservação da energia configura-se na literatura da área de ensino de ciências e nos manuais de ensino. Demonstramos, assim, a existência de nichos pouco esclarecidos nas duas configurações: um deles no que se refere à ausência de significação conceitual do teorema trabalho-energia nos manuais de ensino universitário e o outro no que se refere às investigações acerca da aprendizagem. E, é exatamente com respeito a esse segundo nicho, o da aprendizagem, que queremos retornar de modo a examiná-lo em detalhes.

Comentamos no subitem 1.5 que as pesquisas da área tendem a evidenciar as dificuldades de aprendizagem dos sujeitos, no que diz respeito ao princípio de conservação da energia. Em contrapartida, aquilo que os alunos apreendem durante os diferentes momentos da instrução formal são negligenciados. Ou seja, as pesquisas parecem descuidar, naquilo que se refere ao lento e contínuo processo pelo qual ocorre o aprendizado.

Sendo assim, propomo-nos a investigar aquilo que os sujeitos assimilam durante a instrução formal no que se diz respeito ao processo de conservação da energia mecânica e conceitos subjacentes. Nossa restrição pela energia mecânica se dá pelo necessário afunilamento e recorte de objeto a ser pesquisado e pelo fato da incompletude conceitual do teorema trabalho-energia presente nos manuais de ensino universitário. Portanto, nossa proposta não é a de examinar ‘aquilo que não se sabe’, mas ‘aquilo que se passa a saber’ com a mediação da instrução formal.

Para isso apresentamos, nesse segundo capítulo, a metodologia utilizada para a investigação empírica da apreensão do princípio de conservação da energia mecânica por sujeitos matriculados em diferentes momentos da instrução formal. Até certo ponto, destacamos que nosso estudo se aproxima dos trabalhos de Saglam-Arslam (2010) e Lee e Liu (2009) ao investigar alunos do ensino fundamental, médio, universitário e de pós-graduação. Entretanto, ressaltamos que iremos além da identificação das dificuldades dos sujeitos no que diz respeito aos conceitos tratados. Avançaremos de modo a compreender não somente os conceitos explicitados pelos sujeitos, mas também os conceitos implícitos, subjacentes às suas condutas quando colocados em situação para a resolução de tarefas. Para isso, nosso estudo privilegiará dois momentos distintos.

No primeiro, retomamos os trabalhos dos autores citados acima para o conceito da energia e da conservação da energia mecânica com a finalidade de verificar e confirmar os resultados da literatura. No segundo momento, entrevistamos 6 sujeitos para refinar e compreender como ocorre a conceitualização em situação. Por tratar-se de dois momentos distintos, valemo-nos, também, de duas metodologias distintas.

Para o primeiro momento, a metodologia consistiu na aplicação de questionários com 6 questões abertas a alunos do ensino médio e a alunos da graduação em física. No ensino médio, a coleta de dados ocorreu durante tempo cedido em duas aulas seguidas de física, com duração total de 100 minutos. No nível universitário a coleta de dados ocorreu durante tempo cedido nas aulas das disciplinas, com duração média de quarenta e cinco minutos. Todas as participações ocorreram de forma voluntária. A análise das respostas dos sujeitos ocorreu através da adaptação de algumas categorias presentes na literatura da área no que diz respeito à capacidade dos alunos na mobilização e articulação conceitual. As questões propostas visavam verificar e confirmar os dados apresentados na literatura da área com relação às capacidades dos sujeitos em definir energia, distinguir a conservação da energia mecânica e conservação da Quantidade de Movimento, identificar situações onde ocorrem conservação e Dissipação da energia mecânica, reconhecer expressões

matemáticas pertinentes e os símbolos utilizados. Denominaremos esse primeiro momento de estudo exploratório ou preliminar.

Considerando a análise das respostas dos sujeitos, devidamente categorizadas, investigaremos a ação dos sujeitos durante a realização de questões envolvendo os pontos críticos apresentados nesse trabalho, sejam nas dificuldades presentes na literatura, sejam aqueles verificados no estudo preliminar. Esse foi o segundo momento da investigação, para o qual lançamos mão de outra metodologia. Convidamos alguns alunos do ensino médio e do nível universitário a resolverem exercícios mediados pelo pesquisador durante a resolução. Chamaremos esse momento da investigação de estudo aprofundado.

Tanto a análise do estudo preliminar, quanto a análise do estudo aprofundado fazem parte do que chamamos de investigação empírica e compõem o capítulo 3.

2.1 Metodologia utilizada no Estudo Preliminar

2.1.1 Caracterização dos espaços de formação no Nível Médio e no Nível Universitário

Caracterizaremos a seguir os espaços da instrução formal nas quais os sujeitos envolvidos na investigação encontravam-se matriculados. O primeiro deles é o Colégio Parthenon, localizado na cidade de Guarulhos; o segundo é o Instituto de Física da Universidade de São Paulo, *campus* Capital.

2.1.1.1 Colégio Parthenon

O Colégio Parthenon é uma escola particular, fundado em 1979, situado na região metropolitana de São Paulo, cidade de Guarulhos, e conta atualmente com quatro unidades de ensino em dois bairros. Suas modalidades de ensino atendem desde a educação infantil até o ensino médio. Com proposta construtivista até o final do ensino fundamental, o colégio adota uma proposta tradicional à partir do primeiro ano do ensino médio. O corpo docente é composto de professores formados em universidades públicas, sendo que a maioria possui grau de mestre e/ou doutor. No sítio do colégio é possível encontrar os objetivos que se propõe a seguir, dentre os quais destacamos,

Desenvolver a capacidade dos(as) alunos(as) de identificar e formular problemas, de utilizar adequadamente fontes, dados e evidências, de elaborar e testar hipóteses, de chegar a conclusões adequadas a partir dos conhecimentos acumulados na pesquisa, de construir argumentos lógicos relacionando causas e efeitos e de socializar o processo de investigação e seus resultados com o grupo³¹.

As aulas de física, durante o ensino médio, ocorrem em duas frentes, com duas aulas por cada frente, totalizando quatro aulas semanais. Em alguns dias da semana os alunos participam de atividades no contra-turno presente na carga horária semanal obrigatória. No segundo semestre do terceiro ano do ensino médio os alunos tem aulas de revisão com vistas ao vestibular.

2.1.1.2 Caracterização dos Cursos de Graduação em Física da USP

O Instituto de Física da USP oferece graduação em Física tanto na modalidade bacharel quanto na modalidade licenciatura. Os objetivos de cada um dos cursos de graduação são distintos; enquanto a modalidade bacharel tem como seu objetivo principal formar pesquisadores para atuarem nas áreas básicas, a modalidade licenciatura tem como objetivo principal formar professores para o ensino básico.

Com relação às disciplinas de física os alunos poderão optar em realizar a graduação no período diurno ou no período noturno. Entretanto, devido às peculiaridades de cada período, a distribuição das disciplinas são ligeiramente distintas; no período diurno estão distribuídas em seis semestres e, no noturno, em sete. O total de créditos para a conclusão de ambas as modalidades contemplam as disciplinas obrigatórias além das optativas e das eletivas.

Embora a organização no que diz respeito ao prazo de conclusão de curso e períodos seja igual, as disciplinas oferecidas não são. A grade de disciplinas obrigatórias, de física, para a graduação em bacharelado não é a mesma para a graduação em licenciatura em física. Optamos por disciplinas que, durante algum momento, discutiriam o princípio de conservação da energia e degradação em diferentes semestres de formação, tanto para alunos do bacharelado, quanto para alunos da licenciatura; seja no período diurno, seja no período noturno.

³¹ Colégio Parthenon. In: <http://www.colegioparthenon.com.br/colégio-parthenon/objetivos.html>.

A tabela 1 apresenta as disciplinas cujos sujeitos foram colocados em situação, a quantidade de sujeitos, se a disciplina pertence à licenciatura ou bacharelado e o período letivo da disciplina na grade da graduação.

Disciplina	Voluntários	Formação	Semestre Letivo
Física	54 (diurno)	Ensino Médio	3º Ano
Fundam de Mecânica	16(noturno)	Licenciatura	Primeiro
Corpos Rígidos e Fluídos	17 (diurno)	Licenciatura	Terceiro
Corpos Rígidos e Fluídos	22 (noturno)	Licenciatura	Terceiro
Termo-Estatística	13 (diurno)	Licenciatura	Quinto
Mecânica 2	12 (diurno)	Bacharel	Quinto
Termodinâmica	12 (diurno)	Bacharel	Quinto
Termodinâmica	12 (noturno)	Bacharel	Sétimo

Tabela 1 – Relação dos sujeitos investigados, disciplinas e períodos.

2.1.2 Questões propostas

Apresentamos aqui as situações propostas aos sujeitos. Contemplamos aspectos conceituais envolvendo especificamente o princípio de conservação da energia mecânica e sua degradação.

Questão 1
Como você define energia? Quais são as modalidades de energia que conhece (ex.; energia mecânica, Elétrica etc)? Há alguma relação entre tais modalidades?
Objetivo da questão 1
A finalidade desta questão é a de verificar as concepções dos sujeitos para os conceitos de energia. Também queremos investigar a capacidade do sujeito no que se refere à mobilização do princípio de conservação da energia e da degradação a partir de algumas modalidades de energia.
Questão 2
Como você define as chamadas colisões perfeitamente Elásticas, as inelásticas e as parcialmente Elásticas em termos de energia? Justifique sua resposta.
Objetivo da questão 2
A finalidade desta questão é a de verificar a capacidade dos estudantes na definição de colisões Mecânicas em termos de conservação da energia

mecânica e dissipações por meio de outras formas como calor e som.

Questão 3

As seis figuras abaixo representam o pêndulo de Newton. Utilizando a noção de energia explique o que ocorrerá em cada uma delas.

Objetivo da questão 3

A finalidade desta questão é verificar a capacidade de mobilização conceitual para situações que envolvam conservação da energia mecânica nas colisões perfeitamente Elásticas.

Questão 4

Nas situações abaixo há dois planos inclinados. Há um bloco de massa m no primeiro plano e outro, também de massa m , no segundo plano; os blocos são exatamente iguais. Entre o primeiro plano inclinado e o bloco não há atrito; entre o segundo plano inclinado e o segundo bloco há atrito. Os dois blocos são soltos no ponto mais alto do plano. Explique o que ocorre em cada uma das situações utilizando a noção de energia.

Objetivo da questão 4

Esta questão tem por finalidade identificar os conceitos e articulações

conceituais mobilizadas pelos sujeitos em situações que envolvam conservação da energia mecânica em sistemas que envolvam forças conservativas e não conservativas.

Questão 5

A figura abaixo representa um pêndulo simples. Imagine que o corpo de massa m é suspenso a altura h qualquer e solto no instante t_0 . A partir deste momento a massa passa a oscilar. Percebe-se, no entanto, que no instante t ($t > t_0$) a altura máxima que a massa m consegue atingir é menor que a altura da qual foi, originalmente, solta. Explique este fenômeno utilizando seus conhecimentos sobre energia.

Objetivo da questão 5

Esta questão tem por finalidade examinar a capacidade da mobilização dos conceitos e articulações operacionais pelos sujeitos com relação às situações que envolvam dissipação de energia mecânica.

Questão 6

As expressões abaixo são usualmente apresentadas nos cursos de física básica. Cada uma delas se vale de símbolos que, sozinhos, representam alguma informação física. No entanto, ao serem agrupados (articulados) numa expressão nos trazem outras informações associadas a cada um dos símbolos.

- Qual é o significado (informação física) de cada um dos símbolos (sozinhos) que aparecem nas expressões abaixo?
- Qual é o significado (informação física) de cada uma das expressões abaixo?

Expressão	
1 ³²	$\Delta U = U_f - U_i = Q - W_{i \rightarrow f}$
2	$W_{i \rightarrow f} + W_{f \rightarrow i} = 0$
3	$\oint F \cdot dl = 0$
Objetivo da questão 6	
A questão 6 tem por objetivo verificar a compreensão do significado físico dos signos utilizados e do significado presente na articulação operacional.	

2.1.3 Método de análise dos dados

A análise dos dados foi realizada valendo-se de uma adaptação da categorização proposta pelo modelo de Rasch³³ (BOND e FOX, 2007). Segundo este método é recomendável que privilegiemos tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos na escolha das categorias. Se por um lado a escolha de uma quantidade reduzida de categorias pode esconder dados que podem nos interessar; por outro, os limites estabelecidos entre duas categorias podem não ser suficientemente definidos de modo que, enquanto um examinador opta em classificar determinada resposta numa categoria, outro examinador poderia optar por uma categoria imediatamente acima ou abaixo. Por outro lado, as qualidades das categorias utilizadas devem estabelecer que aspectos e qual sua relevância no contexto que se coloca. Embora “existam pesquisas sugerindo que a adição de mais categorias de resposta aumenta a confiança, isso somente pode ser dito se essas categorias adicionais não são arbitrárias” (LINACRE, 1995; WRIGH e LINACRE, 1992 apud BOND e FOX, 2007, p. 221).

A categorização proposta pelo modelo de Rasch vem sendo utilizada por pesquisadores da área de ensino de ciência quando se trata de articulações conceituais (LEE e LIU, 2009; SAGLAM-ARSLAM, 2009; BARBOSA e BORGES, 2006). Em geral, as análises utilizam de quatro a seis categorias que

³² Embora ΔU pudesse significar seja variação da energia interna, seja variação de energia gravitacional, nossa expectativa foi a de que o conjunto de situações levasse os sujeitos a situar tal significante ao significado de energia interna.

³³ Não se trata aqui de estudo estatístico. Nossa amostra é demasiadamente pequena. Portanto, ao mencionarmos “adaptação da categorização proposta pelo modelo de Rasch” estamos nos referindo apenas à sistematização das categorias propostas e não ao estudo estatístico em si (embora nossos dados sejam apresentados em termos *percentuais*).

permitem relacionar a aproximação da articulação dos conceitos utilizados pelos sujeitos pesquisados com aquela estabelecida como referência (nos três casos a referência utilizada foi o conceito científico formal). A utilização de quatro a seis categorias está de acordo com o modelo de Rasch (BOND e FOX, 2007) que recomenda a utilização de não menos que três e não mais que sete categorias nos instrumentos de análise das pesquisas.

2.1.3.1 Categorias de Operacionalização Conceitual

Em consonância com tais análises, utilizaremos a categorização proposta pelo modelo de Rasch como instrumento de análise das situações propostas aos sujeitos. Para isso, estabelecemos seis categorias, ou *status*, que associamos a capacidade de mobilização e articulação dos conceitos de acordo com a finalidade previamente estabelecida de cada questão. Os significados, significantes, operacionalização dos significados e significantes que verificamos pode ser pensado em termos do diagrama 7 para o conceito de energia, o princípio de conservação e degradação.

Diagrama 7 – Conceitos utilizados nas situações propostas e possíveis operacionalizações.

A tabela 2, a seguir, associa as seis categorias com a capacidade de mobilização e articulação conceitual por parte dos sujeitos. Os argumentos dos alunos serão categorizadas como *branco* (*status* 0) se não responderem a

questão; *irrelevantes* (*status* 1) se não houver justificativas ou se mobilizarem conceitos que não haja relação com o que foi solicitado na questão; *identificação* (*status* 2) se for mobilizado um ou outro conceito relacionado ao que se trata na questão; *parcial* (*status* 3) se o estudante mobilizar alguns conceitos e articulá-los adequadamente; *completo* (*status* 4) se o estudante mobilizar e articular quase todos os conceitos envolvidos; *complexo* (*status* 5) se o sujeito mobilizar e articular todos os conceitos adequadamente do ponto de vista científico. As categorizações serão atribuídas em termos de significados e significantes.

Grau de articulação	Status	Característica dos estudantes
Complexa	5	Estudante reconhece e articula os conceitos relevantes na situação apresentada de acordo com o aceito cientificamente
Completa	4	Estudante mobiliza e articula quase todos os conceitos relevantes de acordo com o aceito cientificamente
Parcial	3	Estudante mobiliza e articula poucos conceitos
Identificação	2	Estudante mobiliza alguns conceitos
Irrelevante	1	Nenhum conceito relevante foi mobilizado
Branco	0	Estudante não respondeu

Tabela 2 - Categorias de articulação operacional utilizadas.

2.2 Metodologia utilizada no Estudo Aprofundado

Com o intuito de aprofundamento no estudo da apreensão (ou conceitualização) da conservação da energia mecânica a metodologia adotada para o segundo momento, ou estudo aprofundado, tomamos por referencial teórico a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud, presente no subitem 1.2.2 ao apresentarmos sua concepção de conceitualização. Posto isso, devemos considerar os seguintes aspectos:

1. Um conjunto de situações com os conceitos críticos pertencentes ao quadro conceitual de interesse, apontados inicialmente na literatura da área e confirmados através do estudo preliminar:
 - conservação da energia mecânica;

- Identificação dos conceitos de energia cinética, potencial Elástica e potencial Gravitacional;
 - trabalho dinâmico (teorema trabalho-energia);
 - Distinção entre energia mecânica e conservação da Quantidade de Movimento;
 - princípio de conservação da energia, num sentido mais amplo;
 - Identificação dos conceitos de calor, som, atrito etc;
 - trabalho Termodinâmico ('pseudo-trabalho' da força de atrito).
2. Investigar o sujeito-em-situação. O interesse nesse aspecto é explorar os esquemas dos sujeitos-em-ação para um conjunto de situações dadas. Aqui, interessa-nos a identificação de quatro componentes dos *esquemas* dos sujeitos (VERGNAUD e RÉCOPÉ, 2000, p. 48): i. suas metas, sub-metas e antecipações; ii. suas regras de ação, de tomada de informação e controle; iii. seus invariantes operatórios; iv. suas inferências. Segundo Vergnaud e Récopé (2000, p. 48) “sem a identificação desses quatro componentes do *esquema*, nós não podemos compreender plenamente a estrutura da atividade e sua dupla característica de ser, às vezes sistemática e contingente” (VERGNAUD e RÉCOPÉ, 2000, p. 48).

O conjunto de situações propostas contou com 8 questões, sendo cada situação investigada em dois momentos distintos, no estudo aprofundado. No primeiro momento, o pesquisador (**P**) entregou uma folha, composta de uma figura com algumas informações iniciais ao sujeito (**S**), com a intenção de colocá-lo em situação com o mínimo de interlocução possível entre os dois. No segundo momento, o sujeito interagiu com o pesquisador através de questões direcionadas. O conjunto de situações, contando com os dois momentos e tipos de questões, foram os mesmos para todos os sujeitos investigados. O quadro abaixo traz as oito situações, com as justificativas para cada uma delas e os dois momentos da investigação do sujeito-em-situação (questão aberta, ou momento 1; questão mediada, ou momento 2).

Situação 1: <i>Looping</i>
<p>Justificativa: A intenção desta situação é a de investigar os invariantes operatórios utilizados pelos alunos numa situação que envolve conservação da energia mecânica, especificamente “conversão” de energia potencial gravitacional para energia cinética e vice-versa. Apresentamos a foto do trecho de um <i>looping</i> e solicitamos a eles que explicassem o que deveria ocorrer com um corpo que fosse solto do lado inclinado à esquerda do <i>looping</i>.</p> <p>A resposta espontânea que esperávamos era a de que, considerando o sistema conservativo, o corpo deveria descer pela rampa de uma altura H, até atingir o ponto mais baixo da trajetória cuja velocidade seria máxima. Nessas condições haveria conservação da energia mecânica, já que a energia potencial Gravitacional associada à altura H seria totalmente “convertida” em energia cinética na posição de máxima velocidade. A partir desta posição de máxima velocidade, e admitindo a altura do “<i>looping</i>” como sendo menor que H^{34}, o corpo daria volta em toda trajetória do “<i>looping</i>” atingindo a altura máxima com menor velocidade possível neste trajeto, já que a energia cinética na posição mais baixa seria “convertida”, pelo menos em parte, em energia potencial Gravitacional no ponto mais alto do <i>looping</i>.</p> <p>Pode-se assumir uma possível aproximação dessa situação com as questões 1 e 3 do estudo preliminar.</p>
Questão aberta (A)
<p>A imagem abaixo é de um <i>looping</i> localizado no trecho de um trilho. Explique o que ocorre ao soltarmos um corpo no plano inclinado situado à sua esquerda.</p> <div data-bbox="624 1442 967 1700" data-label="Image"> </div>
Questão mediada (M)
<p>Explique em quais condições o carrinho pode atingir a altura máxima?</p>

³⁴ Nesse caso, a altura mínima, H ($H_{\min}$), que o corpo deve ser solto, na rampa, equivale à $2,5 R$, onde R é o raio do *looping*. De certa forma, esperávamos que os sujeitos pudessem mencionar tal relação ou demonstrá-la articulada operacionalmente.

Situação 2: Colchão de ar
<p>Justificativa: Esta situação também teve por finalidade investigar os invariantes operatórios utilizados pelos alunos numa condição de conservação de energia mecânica, modalidade cinética. Apresentamos a eles a figura de um jogo conhecido, cujo funcionamento se vale de um ‘colchão de ar’, solicitando, inicialmente, que explicassem seu funcionamento.</p> <p>A resposta que esperávamos deveria associar o ar “expelido” pelo colchão como condição para a manutenção do movimento do disco e, conseqüentemente, a conservação da energia cinética. Além disso, tínhamos como objetivo secundário identificar invariantes operatórios associados à transferência e conservação do Momento Linear entre o disco-parede e entre disco-“disco-lançador”.</p> <p>Pode-se assumir que essa situação se aproxima das questões 1, 2 e 3 do estudo preliminar.</p>
Questão aberta (A)
<p>A imagem abaixo é de uma mesa de ar. Explique seu funcionamento.</p> <div data-bbox="598 1160 997 1444" data-label="Image"> </div>
Questão mediada (M)
<p>Item A: Qual é a função do colchão de ar?</p>
<p>Item B: Explique o que deve ocorrer, e como, para que o disco inicie o movimento?</p>
<p>Item C: O que ocorre cada vez que o disco colide nas laterais da mesa?</p>
Situação 3: Plano inclinado com atrito e diferentes inclinações
<p>Justificativa: Esta situação visava identificar os invariantes operatórios utilizados pelos alunos durante o deslizamento de um corpo situado numa</p>

mesma altura em dois planos inclinados diferentes na extensão/inclinação e aspereza. Os conceitos físicos que tínhamos em vista eram aqueles envolvidos tanto na conservação da energia mecânica, especificamente transformação de energia potencial Gravitacional em cinética, bem como aqueles envolvidos na Dissipação da energia mecânica em outras modalidades da energia, a saber, calor; outro conceito, secundário, é o da potência mecânica desenvolvida. A figura abaixo foi apresentada aos alunos.

A resposta que esperávamos dos alunos deveria ser algo do tipo: “Os dois blocos partem da mesma altura H possuindo, portanto, a mesma energia potencial Gravitacional. À partir de então desenvolvem velocidades durante a descida pelos respectivos planos inclinados no qual transformam, parcialmente, tal energia potencial em energia cinética. A outra parcela da energia cinética será transformada em calor através do atrito com a superfície rugosa. Além disso, o tempo de percurso será maior no plano inclinado cuja extensão horizontal é L e menor no de extensão horizontal I ; sendo assim, a potência mecânica desenvolvida pelo bloco em L será menor e a potência mecânica desenvolvida pelo bloco em I será maior”.

Pode-se supor que essa situação se aproxima das questões 4 e 6 do estudo preliminar.

Questão aberta (A)

Dois blocos idênticos são colocados a deslizar em dois planos inclinados, de mesma altura H , de acordo com as duas representações abaixo. Explique o que pode ocorrer com os blocos, em cada plano, considerando $L > I$.

Questão mediada (M)

Item A: O que se pode dizer acerca do desenvolvimento da velocidade dos blocos nas situações apresentadas?

Item B: O que se pode dizer acerca do tempo de descida dos blocos? Em qual situação o bloco atingirá a superfície no menor tempo?

Item C: Existe uma tradução matemática para o fenômeno?
Situação 4: Colisão inelástica
<p>Justificativa: A intenção desta situação era a de investigar os invariantes operatórios utilizados pelos sujeitos numa situação envolvendo uma colisão inelástica. A figura abaixo foi apresentada aos alunos e solicitamos, na questão aberta, que explicassem o fenômeno.</p> <p>Nossa expectativa era a de que nas explicações apresentadas estivessem presentes elementos relacionados à transformação de energia cinética dos veículos antes da colisão em calor e som durante a colisão e, portanto, a dissipação da energia cinética em calor e som. Outro elemento conceitual, embora secundário, era a de que durante as explicações estivessem presentes conceitos relativos à conservação da Quantidade de Movimento.</p> <p>Pode-se admitir que essa situação se aproxima mais da questão 2 do estudo preliminar.</p>
Questão aberta (A)
<p>Explique a representação da figura abaixo.</p>
Questão mediada (M)
Item A: O que se pode afirmar acerca da velocidade de cada um dos veículos?
Item B: O que se pode afirmar da deformação?
Item C: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
Situação 5: Colisão elástica
<p>Justificativa: Esta situação visava investigar invariantes operatórios relativos à colisão elástica. Apresentamos aos alunos a figura abaixo.</p> <p>Esperávamos que na explicação aberta os alunos utilizassem os conceitos de conservação da energia cinética em colisões perfeitamente elásticas e da conservação da Quantidade de Movimento relacionando-os com as velocidades antes e após a Colisão. Além disso, esperávamos que os alunos</p>

sugerissem tratar-se de um sistema conservativo e o papel desempenhado pela mola. O exemplo de explicação seria algo do tipo: “Considerando blocos de mesma massa e a figura como um sistema conservativo os blocos terão o mesmo módulo de velocidade, numa mesma posição, antes e após a colisão. Isto significa tanto conservação da energia cinética quanto do módulo da Quantidade de Movimento. Na Colisão as Energias Cinéticas dos blocos serão convertidas em energia potencial Elástica durante a compressão da mola; após a compressão total a mola se alongará ‘transferindo’ esta energia potencial Elástica aos blocos que passarão, então, a ter a mesma energia cinética que tinham antes da colisão”.

Pode-se assumir que essa situação se aproxima das questões 1, 2 e 3 do estudo preliminar.

Questão aberta (A)

Dois blocos estão em movimento retilíneo, com mesma direção e sentidos opostos sobre uma superfície horizontal. A representação do esquema pode ser verificada na figura abaixo. Explique o que pode ocorrer.

Questão mediada (M)

Item A: O que se pode dizer acerca das velocidades dos blocos antes, durante e após a colisão?

Item B: Qual é o papel da mola?

Item C: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?

Situação 6: Dissipação da energia mecânica na forma de calor

Justificativa: Nosso objetivo nesta situação era o de investigar os invariantes operatórios utilizados pelos alunos relacionados à dissipação de energia mecânica em forma de calor. Para isso apresentamos a figura abaixo. A explicação espontânea (aberta) que esperávamos dos alunos era: “Após o rompimento do fio, a energia potencial Elástica da mola seria transferida aos dois blocos de gelo que passariam, então, a moverem-se em sentidos opostos. Imaginando que tivessem a mesma massa, o bloco sobre a superfície lisa se

moveria por uma distância maior que o bloco sobre a superfície rugosa. Isto significa que parte da energia potencial Elástica ‘transferida’ da mola para o bloco sobre a superfície rugosa foi transformada em calor no atrito entre a base do bloco de gelo e a superfície durante o deslocamento. O gelo teria, então, uma pequena variação na sua energia interna através do aumento da velocidade média das moléculas ocasionada pelo atrito”.

Pode-se admitir que essa situação se aproxima das questões 2, 4 e 6 do estudo preliminar.

Questão aberta (A)

A figura abaixo representa dois blocos de gelo unidos por um fio. Entre os blocos há uma mola comprimida ao máximo. Em algum momento o fio acaba por se romper. Explique o que pode ocorrer.

Questão mediada (M)

Item A: O que se pode dizer das velocidades dos blocos no exato instante em que o fio se rompe?

Item B: O que se pode dizer das distâncias percorridas por cada bloco?

Item C: O que se pode dizer acerca da massa do bloco que está na superfície rugosa quando entrar em repouso?

Item D: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?

Situação 7: Relógio de pêndulo

Justificativa: Buscamos, nesta situação, aproximar a simetria oferecida pelo relógio de pêndulo com a simetria existente na função matemática que representa a energia mecânica e o trabalho mecânico. Para isso mostramos a figura abaixo.

Especificamente, nesta situação, não esperávamos que os alunos reconhecessem, espontaneamente, a simetria entre o conceito e a situação real, porém que utilizassem invariantes operatórios envolvendo tanto conceitos relativos à conservação da energia mecânica durante a transformação de energia potencial Gravitacional em cinética, e vice-versa, durante o movimento do pêndulo quanto à dissipação devido aos atritos provenientes tanto do

mecanismo interno quanto da resistência com o ar.

Uma possível explicação seria algo como: “O funcionamento do relógio de pêndulo ocorre através do pêndulo e do deslocamento vertical de suas massas. Ao nos limitarmos apenas ao pêndulo percebemos uma ‘conversão’ da energia potencial Gravitacional para energia cinética, e vice-versa, durante seu movimento. Este movimento não é eterno por haver dissipação em forma de calor em decorrência dos atritos ocasionados tanto no mecanismo interno quanto no atrito com o ar. No entanto, o movimento se manterá por conta do pêndulo que transfere a energia cinética de seu movimento vertical descendente cadenciado”.

Pode-se assumir que essa questão se aproxima das questões 1, 5 e 6 do estudo preliminar.

Questão aberta (A)

A figura abaixo é a de um relógio de pêndulo devidamente alinhado no eixo vertical. Explique seu funcionamento.

Questão mediada (M)

Item A: Como o relógio de pêndulo é capaz de manter o movimento? Em que situação deixa de funcionar?

Item B: Indique em qual posição a velocidade do pêndulo é máxima.

Item C: Considere um ponto qualquer da trajetória do pêndulo. Faça dois desenhos idênticos situando o pêndulo numa posição qualquer. Num dos desenhos indique as forças atuantes durante o movimento descendente; noutro, indique as forças atuantes durante o movimento ascendente.

Item D: Nos mesmos desenhos do item “b)” indique o vetor $\Delta \vec{S}$.

Item E: Existe uma tradução matemática para explicar o fenômeno?

Situação 8: Lançamento vertical

Justificativa: A intenção desta situação era a de colocar em jogo os invariantes operatórios dos estudantes no que diz respeito à simetria presente no movimento vertical ascendente e descendente ocasionado pelo lançamento dos corpos. Para isso foi apresentada a figura abaixo aos alunos e solicitado que explicassem o fenômeno que estava sendo representado.

Especificamente, buscávamos explorar duas ideias principais. A primeira delas era a percepção dos alunos de que se tratava de um sistema conservativo; a outra, a capacidade de traduzir numa linguagem matemática a simetria presente. Uma possível resposta seria: “O corpo é lançado verticalmente para cima. No instante imediatamente após ser lançado possui máxima velocidade que, na medida em que sobe, vai diminuindo enquanto a altura aumenta até atingir a altura máxima H onde a velocidade é zero. A partir de então retorna ao ponto de origem, na medida em que a altura diminui e a velocidade aumenta até que retorne à mão do menino com o mesmo módulo da velocidade com a qual fora lançada”.

Pode-se supor que essa situação se aproxima das questões 1, 5 e 6 do estudo preliminar.

Questão aberta (A)

Explique a situação ilustrada na figura abaixo

Questão mediada (M)

Item A: A partir de que instante, e porque, a esfera adquire movimento vertical ascendente?

Item B: O que se pode dizer acerca da velocidade e da altura da esfera durante todo o movimento?

Item C: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?

Embora não haja equivalência entre as questões, foi possível estabelecer uma relação biunívoca entre os conceitos centrais tratados em cada uma delas. A tabela 3, abaixo, correlaciona as questões e situações, de acordo com seus conceitos centrais³⁵:

		Estudo Preliminar (questões)					
		1	2	3	4	5	6
Estudo aprofundado (situações)	1	SIM	MÉDIA	SIM	MÉDIA	MÉDIA	NÃO
	2	SIM	SIM	SIM	NÃO	MÉDIA	NÃO
	3	MÉDIA	NÃO	NÃO	SIM	MÉDIA	SIM
	4	MÉDIA	SIM	MÉDIA	MÉDIA	NÃO	MÉDIA
	5	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
	6	MÉDIA	SIM	NÃO	SIM	MÉDIA	SIM
	7	SIM	NÃO	NÃO	MÉDIA	SIM	SIM
	8	SIM	MÉDIA	NÃO	MÉDIA	SIM	NÃO

Tabela 3 – Possível relação de aproximação entre as questões do estudo preliminar e o estudo aprofundado.

2.2.1 Sujeitos investigados

Foram investigados 6 alunos, de diferentes momentos da instrução formal. Assim, convidamos 2 alunos do 3º ano do ensino médio, 2 alunos da graduação em licenciatura em física e 2 alunos da graduação em bacharelado em física. Para essa investigação, lançamos mão de entrevistas que foram gravadas em vídeo e áudio, tiveram duração média de 70 minutos e foram integralmente transcritas para análise. A importância da verbalização do sujeito constitui um meio “de levar em consideração a atividade cognitiva do sujeito em determinada tarefa ou situação” (VERGNAUD apud BAGHERI-CROSSON, 2004, p. 86).

O verdadeiro nome dos sujeitos será preservado, sendo tratados aqui por pseudônimos. Chamaremos de Güenther o aluno do ensino médio com idade de 17 anos; de Geraldo, do ensino médio, de 18 anos; de Luiz Antônio, o aluno, recém-formado em licenciatura, de 24 anos; de Carolina, a aluna

³⁵ Assim, por exemplo, a questão 1 (estudo preliminar) e a situação 1 (estudo aprofundado) guardam uma relação no que diz respeito aos Conceitos relativos à Conservação da Energia Mecânica; a questão 4 e a situação 6, guardam relação no que diz respeito ao Princípio de Conservação da Energia, num sentido amplo.

matriculada no sexto semestre do nível universitário, modalidade licenciatura, cuja idade é 42 anos; de Sálvio, o aluno matriculado no oitavo semestre do nível universitário, modalidade bacharel, de 25 anos e; por último, Renata, de 22 anos, aluna matriculada no oitavo semestre do nível universitário, modalidade bacharel.

Tanto Sálvio quanto Renata estavam vinculados à projetos de iniciação científica em laboratórios de pesquisa. Carolina trabalhava em outro departamento, na própria universidade, exercendo atividade com pouco vínculo com a física e Luiz Antônio teve bolsa de iniciação em física aplicada, embora tenha concluído o curso na modalidade licenciatura. Os alunos do ensino médio estavam se preparando para o ingresso no ensino universitário.

2.2.2 Análise das entrevistas

Numa aproximação de análise que vai em direção daquela realizada por Bagheri-Crosson (2004), ao investigar a mobilização do conceito de campo magnético, recorreremos às inferências sobre as manifestações dos sujeitos-em-situação. Esse método é próprio quando o que se propõe a investigar são os *esquemas* ou quaisquer outras investigações dessa natureza. Segundo Barbosa e Borges (2006, p. 189),

nós só podemos falar dos modelos de outra pessoa através daquilo que inferimos que ela está tentando nos dizer, ao expressar sua compreensão ou fazer previsões sobre um determinado fenômeno, situação ou objeto. A atividade do pesquisador consiste basicamente em modelar o pensamento dos sujeitos pesquisados, dado que ele não dispõe de acesso privilegiado ao plano mental dos sujeitos de seus estudos. O seu trabalho depende fortemente de suas interpretações e percepções acerca das ações e discurso das pessoas que estuda... (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 189).

Essas inferências funcionam, na verdade, como aquilo que há de implícito no raciocínio do sujeito no que diz respeito à sua conduta (VERGNAUD, 1991, p. 85). Entretanto, parece-nos que considerar somente as inferências das respostas dos sujeitos-em-situação ainda não permite que se avance no estudo do processo de conceitualização. Seria, então, a análise dessas inferências que nos permitiriam avançar na investigação dessa natureza. Para o caso específico da teoria dos campos conceituais, a análise das inferências deve contemplar as articulações entre a adaptação do real e os

diferentes componentes da representação, sejam significados ou significantes. Contudo, segundo Vergnaud (1990, p. 26),

o homomorfismo entre o real e a representação não deve ser pesquisado, em princípio, no nível dos simbolismos [significantes], mas no nível dos invariantes operatórios contidos nos *esquemas*. É aí que se situa a base principal da conceitualização do real (VERGNAUD, 1990, p. 26).

Considerando as transformações realizadas pelo sujeito, a partir do real, e as diversas transformações homomórficas operadas pelo sujeito, associaremos invariantes operatórios descritivos, ou interpretativos, ao pensamento implícito presente nas inferências. Por invariantes operatórios descritivos entendam-se aqueles do tipo “proposições” (ou teoremas-em-ato) que relacionam um aspecto do real a outro aspecto do real, que representaremos por [R-R].

Os invariantes operatórios interpretativos, também do tipo “proposições”, entenda-se aquele que relaciona ou um aspecto do real a algum aspecto do conceito, que representaremos por [R-C], ou um aspecto do conceito à outro aspecto do conceito, que representaremos por [C-C].

Tal associação, das inferências aos invariantes operatórios, sejam os descritivos, sejam os interpretativos, permite que se avance na análise daquilo que Vergnaud trata como invariantes quantitativos, qualitativos e relacionais (VERGNAUD, [s.d], p. 387-389). Como consequência dessa aposta metodológica, espera-se identificar os quatro componentes dos *esquemas* dos sujeitos – mencionados no início desse capítulo –, de acordo com o controle operado pelo sujeito-em-situação.

Assim, o primeiro tipo de controle a ser identificado é o controle sistemático, ou produtivo. O segundo tipo de controle é o contingente, ou sem controle produtivo. Regras de atividade sistemática, ou controle produtivo, são aquelas sujeitas às regras unívocas, como, por exemplo, os algoritmos matemáticos (VERGNAUD, 2000, p. 48). Regras de atividade contingente, ou sem controle produtivo, são aquelas construídas durante a situação. Nesse segundo caso, os sujeitos não dispõem de *esquemas* em seu repertório, sendo obrigado a improvisar e, “em seguida, volta-se para o oportunismo, e o sujeito

recorre a todos os seus recursos cognitivos, especificamente aos esquemas anteriormente formados que lhe possa ajudar a encontrar solução” (VERGNAUD, 2000, p. 48).

Capítulo 3 – Aspectos Empíricos

Apresentamos, neste capítulo, os resultados dos dois momentos do estudo empírico: preliminar e aprofundado. Comentaremos, ao final de cada um deles, os principais pontos observados.

3.1 Estudo preliminar

Consideramos como objetivo central para nossa primeira investigação:

1. Verificar os conceitos mobilizados pelos sujeitos de acordo com as situações apresentadas;
2. Verificar a articulação conceitual dos sujeitos de acordo com os conceitos envolvidos para cada situação;
3. Verificar e confirmar as dificuldades dos sujeitos quando se trata de situações envolvendo conservação e degradação da energia mecânica.
4. Verificar e comparar como os estudantes em diferentes níveis de instrução formal mobilizam e articulam o princípio de conservação da energia.

3.1.1 Resultados e interpretações

Categorizamos as respostas dos alunos de acordo com a mobilização e articulação dos conceitos pertinentes, tendo como referência as definições aceitas cientificamente. Assim, por exemplo, alunos que se valeram de poucos conceitos foram categorizados num *status* mais baixo e aqueles que utilizaram vários conceitos pertinentes ao que estava sendo solicitado, além de articulá-los de acordo com o aceite cientificamente, foram categorizados num *status* mais elevado.

3.1.1.1 Definições: Energia e Colisão Elástica

Apresentamos abaixo a tabulação das respostas dos alunos categorizadas para a questão 1, com alguns exemplos de respostas; depois, a tabulação das respostas dos alunos para a questão 2, com alguns exemplos. Por último, apresentamos os gráficos com as duas questões, plotados de acordo com os *stati* alcançados em função dos vários momentos de instrução formal.

Questão 1
Como você define energia? Quais são as modalidades de energia que conhece (ex.: energia mecânica, Elétrica etc)? Há alguma relação entre tais modalidades?

A tabela 4, abaixo, relaciona as respostas dos alunos analisadas de acordo com as categorias propostas:

Status	T ³⁶	0	1	2	3	4	5
Ensino Médio	M	1,9%	18,5%	68,5%	11,1%		
Fundam de Mecânica	N		50%	37,5%	12,5%		
Corpos Rígidos e Flu	M	5,9%	5,9%	64,7%	17,6%	5,9%	
Corpos Rígidos e Flu	N		27,3%	68,2%	4,5%		
Termo-Estatística	M	7,7%	15,4%	53,8%	23,1%		
Mecânica 2	M		33,3%	33,3%	16,7%	16,7%	
Termodinâmica	M			33,3%	66,7%		
Termodinâmica	N	8,3%	25,0%	33,4%	25%	8,3%	

Tabela 4 – Status da categorização operacional para a questão 1.

Status	Exemplo de Resposta	Justificativa
4	“A energia não possui uma definição formal. No entanto, sabemos que é uma quantidade conservada na natureza. Manifesta-se sobre várias modalidades como: potencial (gravitacional, elástica), cinética (translacional e rotacional), calor, som e etc” (aluno da disciplina de corpos rígidos e fluídos - diurno).	De acordo com as categorias propostas, consideramos que o sujeito mobiliza algumas modalidades de energia como o fato de explicitar que se trata de uma grandeza que se conserva na natureza (operacionalização conceitual).
3	“É algo que existe no universo, que se conserva e que tem definição matemática clara. Há energia mecânica (potenciais e cinética) e elétrica. Não vejo nenhuma relação matemática” (aluno da disciplina de termodinâmica – diurno).	Entendemos que o aluno manifesta-se conscientemente que energia é algo que existe e se conserva (operacionalização conceitual) além de que mobiliza alguns conceitos de energia; no entanto, neste exemplo, o argumento do aluno nos parece confuso no que se refere ao papel estruturante da matemática.

³⁶ Entenda-se por T como sendo turno, M como sendo manhã e N como sendo noite.

2	“energia: conceito que relaciona a massa de um objeto à sua velocidade. Modalidades: 1) mecânica, 2) química, 3) elétrica, 4) térmica, 5) nuclear, 6) magnética, 7) gravitacional. Sim, há relação entre elas: podem ser reduzidas a outras formas, exceto a (7)” (aluno da turma de termo-estatística – diurno).	Nessa resposta o aluno identifica modalidades de energia sem articulá-las conceitualmente.
1	“energia é um acúmulo de movimento ou Calorias que podem transformá-las em várias fontes diferentes como a mecânica, elétrica, etc. É importante sabermos manipular tais fontes para usá-la corretamente e sem desperdício” (aluno de fundamentos de mecânica – noturno).	Nesse caso, o aluno menciona as modalidades ‘mecânica’ e ‘elétrica’, mas num contexto no qual ainda predominam suas concepções. De acordo com as categorias sintetizadas por Borges e Barbosa (2006), poderiam ser categorizadas como fontes (ou depósitos), combustíveis e produtos ³⁷ .

Tabela 5 – Exemplos de respostas que permitiram as categorizações.

Questão 2
Como você define as chamadas colisões perfeitamente Elásticas, as inelásticas e as parcialmente Elásticas em termos de energia? Justifique sua resposta.

A tabela 6, abaixo, apresenta as categorizações propostas em função do momento de instrução formal.

Status	T	0	1	2	3	4	5
Ensino Médio	M	18,6%	22,2%	44,4%	13,0%	1,8%	
Fundam de Mecânica	N	43,7%	25%	6,3%	25,0%		
Corpos Rígidos e Flu	M	5,8%	11,8%	35,3%	35,3%	11,8%	
Corpos Rígidos e Flu	N	4,5%	18,2%	40,9%	31,9%	4,5%	
Termo-Estatística	M		7,7%	53,8%	38,5%		
Mecânica 2	M			50,0%	41,7%	8,3%	
Termodinâmica	M	8,3%		16,7%	50,0%	25,0%	
Termodinâmica	N	8,3%		41,7%	16,7%	25,0%	8,3%

Tabela 6 – Status da categorização para a questão 2.

³⁷ Ver subitem 1.5.1.1.

Status	Exemplo de Resposta	Justificativa
5	“colisões elásticas tem a energia cinética conservada, enquanto as demais: inelásticas e parcialmente elásticas, energia mecânica total. Num choque elástico não há variação na energia interna, impondo que energia atribuída à translação se conserve” (aluno da disciplina de termodinâmica – período noturno).	O aluno mobiliza todos os conceitos pertinentes (energia cinética, energia mecânica, energia interna, colisões Elásticas e Inelásticas), articulando-os de maneira pertinente do ponto de vista daquilo que é aceito cientificamente.
4	“As colisões perfeitamente elásticas são aquelas onde não há perda de energia cinética após a colisão. A inelástica é aquela que a energia cinética inicial é totalmente transformada em algum outro tipo de energia. As colisões parcialmente elásticas são aquelas onde há transformação de parte da energia cinética inicial” (aluno da disciplina de termo-estatística).	Este exemplo mostra que o aluno menciona a modalidade de energia (cinética) relacionada às colisões. Além disso, opera este conceito em termos de conservação próximo do que é aceito cientificamente.
3	“Elástica: não há perda de energia dos corpos que colidem; inelástica e parcialmente elástica: a energia cinética final dos corpos é menor que a inicial, isto é, energia foi transformada em outras formas” (aluno da disciplina de termodinâmica).	Consideramos como relevante o fato do aluno mobilizar e articular apenas parcialmente a definição de colisões em termos de conservação da energia cinética. Embora ele mencione sobre as colisões inelásticas percebemos que o mesmo não consegue operar os conceitos corretamente.
2	“Colisão perfeitamente elástica é não ter transformação de energia; inelástica é ter transformação total e parcialmente é meio termo” (aluno da disciplina de termo-estatística).	Neste exemplo o sujeito recorre a alguns conceitos e os articula de modo incompleto e confuso de modo que não nos possibilita afirmar acerca da operacionalização conceitual.
1	“Colisão elástica é um termo (que na prática não ocorre) referente ao início e fim das grandezas de um corpo. Pontuemos como exemplo uma bola lançada numa parede e ela volta com mesmo módulo de velocidade, mesma energia. O conceito de colisão inelástica é similar ao da colisão elástica, com a diferença de que nesse caso não há volta, o objeto lançado “fica” inerente no corpo atingido. colisões parcialmente elásticas são colisões em que o objeto volta com perda das grandezas já citadas” (aluno da disciplina de	Aqui a resposta do sujeito não apresenta aproximação formal com o que é aceito cientificamente.

	corpos rígidos e fluídos).	
--	----------------------------	--

Tabela 7 - Exemplos de respostas que nos permitiram categorizar as respostas.

3.1.1.1.1 Gráficos

Gráfico 1 – Status 0 para as questões 1 e 2.

Gráfico 2 – Status 1 para as questões 1 e 2.

Gráfico 3 – Status 2 para as questões 1 e 2.

Gráfico 4 – Status 3 para as questões 1 e 2.

Gráfico 5 – Status 4 para as questões 1 e 2.

Gráfico 6 – Status 5 para as questões 1 e 2.

3.1.1.1.2 Comentários

Essas duas questões tinham por finalidade verificar as concepções dos estudantes em diferentes momentos de instrução formal no que se refere à definição do conceito da energia e da conservação da Quantidade de Movimento em termos da conservação da energia. Outro objetivo era a de confirmar o avanço na mobilização e articulação de acordo com o grau de

instrução formal do sujeito. Nosso ponto de partida foram, principalmente, os trabalhos de Saglam-Arslam (2010) e Carvalho e Villani (1996).

Embora devamos reconhecer a limitação de nossa amostra, para validá-la estatisticamente, ela nos aponta para algumas direções sobre essas duas questões. Primeiramente, é possível perceber um movimento no sentido de maior mobilização e articulação conceitual conforme se avança nos momentos de instrução formal. Consoante a isso, o que se sugere é uma aproximação com o trabalho de Saglam-Arslam (2010), confirmando, portanto, o avanço do domínio do quadro conceitual energia.

Há pequenas exceções e/ou pontos de discussão, passíveis de justificativa pela própria amostra e pela inerente subjetividade das investigações por categorização. Fora disso, destacamos algumas de nossas percepções para cada questão específica, a saber:

Questão 1:

Para a definição de energia é possível encontrar respostas que remetem às concepções espontâneas em quase todos os momentos de instrução formal. Respostas do tipo: “energia é algo capaz de movimentar um corpo” (aluno do ensino médio); “energia é o valor necessário para fazer algo se mexer, ou andar” (aluno do ensino médio); “qualquer manifestação que altere uma situação inerte, ou em equilíbrio com o meio” (aluno de fundamentos); “energia sempre está relacionada ao movimento” (aluno de corpos rígidos e fluídos); “conceito que relaciona a massa de um objeto à sua velocidade” (aluno de termo-estatística); “energia é uma entidade que pode gerar movimento em um corpo” (aluno de termodinâmica); “energia é uma forma de quantificar a capacidade que um corpo tem de realizar uma ‘ação’” (aluno mecânica 2) relacionando energia a movimento poderia, facilmente ser categorizada como sendo associada a força e movimento (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 193-195).

Outro tipo de resposta comum, em todos os momentos da instrução formal, é a definição de energia como sendo ‘a capacidade de realizar trabalho’. Com os dados que dispomos não temos condições de indicar a real

razão para a adoção de tal resposta, mas pensamos que definições como as encontradas em Nussenzveig (2002) e Tipler e Mosca (2009)³⁸ sugere forte influência dos manuais de ensino, como aponta o trabalho de Jacques e Alves Filho³⁹ (2008).

Esse forte vínculo estabelecido entre energia e ‘a capacidade de realizar trabalho’ talvez seja o elemento motivador que leve os alunos a relacionar energia e movimento. Essa crença pode ter origem na ausência de discussão do que seja trabalho, enquanto a natureza do conceito⁴⁰, já que a própria definição do teorema trabalho-energia é incompleta nos manuais de ensino. Nesse sentido, a resposta de um aluno de mecânica 2 nos chamou atenção ao afirmar que “energia é um conceito definido à partir da mecânica que é estendido à todas as outras áreas da física”. Talvez, ideias como essa sobrevivam no inconsciente dos alunos, tendo em vista a crença de que a conservação da *vis viva* estabelecia, *a priori*, o princípio de conservação da energia⁴¹.

Destacamos, por fim, que as respostas dos alunos do ensino médio são bastante sistematizadas, uma espécie de resposta protocolar, provavelmente influenciado pela cultura ou *jogo* escolar quase dogmatizado. Por outro lado, as respostas de alunos que, teoricamente, ingressaram no ensino universitário, como é o caso dos alunos de fundamentos, parecem menos doutrinadas, mais espontâneas, menos vinculadas à doutrina do conteúdo disciplinar, embora haja ideias próximas às dos alunos do ensino médio.

Questão 2:

Em geral os alunos relacionam as colisões em termos de conservação da energia. No entanto, muitas respostas são confusas, o que limita uma análise mais profunda. Alguns citam que se trata de conservação da energia, mas não mencionam qual modalidade ou, então, citam termos como dissipação, perda de energia para o/do meio/sistema ou deformação dos corpos durante a colisão.

³⁸ Ver subitem 1.3.1.

³⁹ Ver subitem 1.5.3.1.

⁴⁰ Ver subitem 1.1.2.

⁴¹ Ver discussão no subitem 1.4.1.

Muitos alunos do ensino médio reconhecem haver dissipação de energia numa colisão inelástica, mas não fazem referências de como tal dissipação ocorre. Há alunos que confundem conservação da Quantidade de Movimento com a conservação da energia cinética. Poucos fazem referência ao coeficiente de restituição.

A maioria dos alunos associa as colisões Elásticas com a conservação da energia ao invés de considerar a conservação da energia cinética. Em geral, os alunos não mencionam a duração de tempo das colisões Elásticas. É comum os alunos associarem as colisões com movimentos em sentidos opostos (Elásticas) e ‘corpos grudados’ (Inelásticas) após a colisão.

3.1.1.2 Conservação e Degradação da Energia

Outro aspecto presente nas pesquisas envolvendo aprendizagem do conceito de energia é aquele que se refere à sua conservação e degradação (NORDINE, KRAJCIK e FORTUS, 2011; SOLBES, GUIASOLA e TARÍN, 2009; RIZAK e KOKKOTAS, 2013). Com a intenção de conseguirmos indicativos da mobilização e articulação acerca da conservação e degradação da energia, lançamos mão das questões 3, 4 e 5. Apresentamos abaixo, a questão 3 com a tabulação do grau de articulação das respostas; a questão 4 e a respectiva tabulação e o mesmo para a questão 5. Seguido a isso, apresentamos gráfico com a plotagem dos dados tabelados.

Questão 3

As seis figuras abaixo representam o pêndulo de Newton. Utilizando a noção de energia explique o que ocorrerá em cada uma delas.

A tabela 8, abaixo, apresenta as respostas à questão 3, proposta em função do momento de instrução formal.

Status	T	0	1	2	3	4	5
Ensino Médio	M	11,1%	24,1%	53,7%	11,1%		
Fundam de Mecânica	N	37,6%	31,2%	31,2%			
Corpos Rígidos e Flu	M	11,8%	35,3%	41,1%	11,8%		
Corpos Rígidos e Flu	N	22,7%	31,8%	31,8%	13,7%		
Termo-Estatística	M	7,7%	23,1%	23,1%	30,8%	15,3%	
Mecânica	M		33,3%	41,7%	25,0%		
Termodinâmica	M	16,7%	16,7%	33,2%	16,7%	16,7%	
Termodinâmica	N	16,7%	25,0%	25,0%	33,3%		

Tabela 8 – Status das categorizações para a questão 3.

Status	Exemplo de Resposta	Justificativa
4	“1) O sistema ficará em repouso; 2) O sistema sempre ficará com 1 massa oscilando; 3) O sistema sempre ficará com 2 massas oscilando; 4) O sistema sempre ficará com 3 massas oscilando; 5) O sistema sempre ficará com 4 massas oscilando; 6) O sistema sempre ficará com 5 massas oscilando. Pois a energia cinética + potencial e não houver atrito de forças dissipativas, se conservarão, fazendo com que outras massas entre em movimento” (Aluno da disciplina de	O aluno utiliza os conceitos relevantes (energia cinética e potencial, ausência de atrito e forças dissipativas) e os articula através do princípio de conservação da energia.

	Termodinâmica).	
3	“Para cada uma delas, o número de esferas que sairá do bloco é igual ao número daquelas chocando-se contra ele: por causa da conservação da energia mecânica” (Aluno da disciplina de TermoEstatística).	Este aluno não utiliza os conceitos de energia cinética e potencial, mas articula conceitualmente sua explicação através do princípio de conservação da energia.
2	“1) energia total do sistema em cada figura a partir da segunda ocorre um acréscimo de energia, uma vez que o movimento está ligada a energia cinética” (Aluno da disciplina de Corpos Rígidos e Fluidos).	O aluno apenas menciona a relação existente entre o movimento das esferas com o conceito de energia cinética sem realizar nenhuma operação conceitual.
1	“1: equilíbrio total, 2: com pouca energia só vai levantar um pouco as outras bolas, 3: energia ainda é insuficiente para fazer o sistema se movimentar, 4: o sistema entra em movimento, 5: tem um aumento de colisões até parar, 6: o sistema vai ficar balançando um bom tempo” (Aluno da disciplina de Corpos Rígidos e Fluidos).	No último exemplo o aluno apenas menciona alguns efeitos. Embora ele utilize o termo “energia” não nos parece que esteja se referindo nem à energia cinética nem a energia potencial o que, portanto, explica a categorização da resposta no <i>status</i> 1.

Tabela 9 - Exemplos de respostas que nos permitiram categorizar as respostas.

Questão 4

Nas situações abaixo há dois planos inclinados. Há um bloco de massa m no primeiro plano e outro, também de massa m , no segundo plano; os blocos são exatamente iguais. Entre o primeiro plano inclinado e o bloco não há atrito; entre o segundo plano inclinado e o segundo bloco há atrito. Os dois blocos são soltos no ponto mais alto do plano. Explique o que ocorre em cada uma das situações utilizando a noção de energia.

Superfície
Lisa

Superfície
Áspera

A tabela 10, abaixo, apresenta as respostas à questão 4, proposta em função do momento de instrução formal.

Status	T	0	1	2	3	4	5
Ensino Médio	M	1,8%		46,4%	50,0%	1,8%	
Fundam de Mecânica	M	31,3%	6,2%	43,8%	12,5%	6,2	
Corpos Rígidos e Flu	M	11,8%	5,9%	41,2%	23,5%	17,6%	
Corpos Rígidos e Flu	N		9,1%	40,9%	27,3%	22,7%	
Termo-Estatística	M		7,7%	23,1%	46,1%	23,1%	
Mecânica 2	M	8,3%	8,3%	16,7%	25,0%	33,4%	8,3%
Termodinâmica	M				66,7%	33,3%	
Termodinâmica	N	16,7%		33,3%	25,0%	25,0%	

Tabela 10 – Status das categorizações para a questão 4.

Status	Exemplo de Resposta	Justificativa
5	“A energia é inicialmente potencial no caso sem atrito o bloco ganha energia cinética de forma ordenada e todas as partículas que o constituem se movem em média em uma mesma direção, no caso com atrito parte da energia se transforma em energia cinética desordenada nas partículas do bloco dando origem a um aumento de temperatura” (Aluno de Mecânica 2).	O aluno mobiliza os conceitos relativos às modalidades de energia envolvidas (energia potencial, energia cinética, atrito, temperatura) e os articula de modo pertinente. Além disso, assume a necessidade de se considerar a energia interna no segundo caso.
4	“Para o plano da superfície lisa, o bloco, a medida que desce o plano ganhará velocidade, pois no início, pela diferença de altura, havia uma diferença de potencial, essa energia potencial, a medida que o bloco desce se transforma em energia cinética, que ao final da rampa, em número, a energia cinética será igual à energia potencial no início. Para o plano de superfície áspera, parte dessa energia potencial se transformará em energia cinética e outra parte em energia térmica, sonora” (aluno da disciplina de Termo-Estatística).	O aluno utiliza os conceitos relevantes (energia potencial, energia cinética, atrito, energia Térmica, Sonora) e os articula operacionalmente através do princípio de conservação da energia.
3	“Na superfície lisa, a energia cinética obtida quando o bloco chega no fim da rampa é igual à energia potencial quando o bloco está no ponto mais alto, pois não há dissipação de	O aluno mobiliza conceitos relevantes (energia cinética, energia potencial, atrito) e articula os conceitos através do princípio de conservação para a

	energia pelo fato de a superfície da rampa ser lisa. O que já não acontece no segundo caso, pois com a presença de atrito há dissipação de energia” (aluno da disciplina de Corpos Rígidos e Flúidos).	superfície lisa. Com relação à superfície áspera ele faz referência a influência do atrito, mas, no entanto, não o associa à modalidade de energia equivalente (energia Térmica, calor, energia Sonora) e, por consequência, não articula operacionalmente tais conceitos através do princípio de conservação da energia.
2	“O segundo bloco leva mais tempo para chegar pois ele precisa vencer a força de atrito. Pode se dizer que ele perde mais energia para o sistema” (aluno da disciplina de Termo-Estatística).	O aluno mobiliza alguns conceitos relevantes (força de atrito, ‘perda’ de energia para o sistema), mas não os articula operacionalmente.
1	“Na superfície lisa o bloco somente está deformando o meio ar. Na superfície áspera o bloco deforma o espaço ar e a superfície, portanto mais energia é usada pelo sistema” (aluno de Fundamentos de Mecânica).	Não há mobilização de nenhum conceito relevante, de acordo com os critérios adotados. O aluno utiliza o termo ‘energia usada pelo sistema’ como referência à deformação exercida pelo bloco sobre o ar.

Tabela 11 - Exemplos de respostas para a questão 4.

Questão 5

A figura abaixo representa um pêndulo simples. Imagine que o corpo de massa m é suspenso a altura h qualquer e solto no instante t_0 . A partir deste momento a massa passa a oscilar. Percebe-se, no entanto, que no instante t ($t > t_0$) a altura máxima que a massa m consegue atingir é menor que a altura da qual foi, originalmente, solta. Explique este fenômeno utilizando seus conhecimentos sobre energia.

A tabela 12, abaixo, apresenta as respostas à questão 5, proposta em função do momento de instrução formal.

Status	T	0	1	2	3	4	5
Ensino Médio	M	22,2%	16,7%	40,7%	20,4%		
Fundam de Mecânica	N	37,6%	25,0%	18,7%	18,7%		
Corpos Rígidos e Flu	M	23,6%	17,6%	17,6%	35,3%	5,9%	
Corpos Rígidos e Flu	N	18,1%	4,6%	50,0%	22,7%	4,6%	
Termo-Estatística	M		7,7%	30,8%	53,8%	7,7%	
Mecânica 2	M			41,7%	50,0%	8,3%	
Termodinâmica	M			25,0%	50,0%	25,0%	
Termodinâmica	N	16,7%		33,3%	25,0%	25,0%	

Tabela 12 – Status da operacionalização conceitual para a questão 5.

Status	Exemplo de Resposta	Justificativa
4	“No momento em que suspendemos a bolinha a uma altura h ela adquire uma certa energia potencial, ao soltarmos a bolinha ela irá perder energia potencial e adquirir energia cinética. Porém ela não irá chegar a mesma altura devido o sistema de energia mecânica não se conservar devido a perda de energia, que a bolinha perde devido o atrito do ar para bolinha, causando perda de energia com térmica por exemplo” (Aluno da disciplina de Corpos Rígidos e Fluidos).	O aluno mobiliza conceitos relevantes e os articula operacionalmente através do princípio de conservação de energia
3	“Nesta situação inicialmente temos uma energia potencial que ao longo do tempo vai ganhando energia cinética e perdendo energia potencial. No instante que o pêndulo fica mais próximo da superfície horizontal, a sua energia cinética é máxima. Após um tempo, essa energia vai se transformando em energia potencial. Após vários ciclos de oscilação, e devido a força peso do que atua sobre o pêndulo essa energia ... <i>[illegível]</i> – grifo nosso] para cinética, vai sofrendo uma redução devida a interação da força da gravidade de que a situação está inserida” (Aluno da disciplina de Termo-Estatística).	O aluno utiliza conceitos como energia cinética e potencial além de articulá-los operacionalmente em termos do princípio de conservação da energia.

2	“A energia cinética vai diminuindo até a energia potencial vai diminuindo até ficar parado, na nova altura h” (Aluno da disciplina de Termo-Estatística).	O aluno mobiliza dois conceitos relevantes (energia cinética e potencial) sem, no entanto, articulá-los operacionalmente.
1	“A energia de quem soltou o pêndulo é menor que a energia necessária para o pêndulo atingir a altura máxima” (Aluno da disciplina de Fundamentos de Mecânica).	Os conceitos utilizados pelo sujeito não estão de acordo com a finalidade para a qual a atividade foi proposta.

Tabela 13 – Exemplos de respostas que nos permitiram realizar as categorizações da questão 5.

3.1.1.2.1 Gráficos

Gráfico 7 – Status 0 para as questões 3, 4 e 5.

Gráfico 8 – Status 1 para as questões 3, 4 e 5.

Gráfico 9 – Status 2 para as questões 3, 4 e 5.

Gráfico 10 – Status 3 para as questões 3, 4 e 5.

Gráfico 11 – Status 4 para as questões 3, 4 e 5.

Gráfico 12 – Status 5 para as questões 3, 4 e 5.

3.1.1.2.2 Comentários

Da mesma forma como percebemos com os gráficos das duas primeiras questões, tratando das definições do conceito de energia e das colisões, percebe-se um movimento que vai do *status* de menor a maior grau de articulação conforme os alunos avançam na instrução formal. Isso significa que alunos de níveis menos avançados possuem mais dificuldades no que se

refere às articulações dos conceitos, embora mobilizem os conceitos pertinentes com alguma facilidade.

Também destacamos que, embora alunos do ensino médio tenham um bom desempenho comparado com alunos de fundamentos, suas respostas seguem, na nossa percepção, ‘os jogos’ da doutrina das disciplinas escolares. No mais, destacamos algumas observações para cada questão específica.

Questão 3:

Em muitos casos, as respostas dos estudantes são confusas e podemos perceber que há dificuldades na organização da própria estrutura do texto. Quando se trata dos conhecimentos físicos relacionados ao princípio de conservação da energia vale destacar a presença de concepções que poderiam ser categorizada como fluído, ingrediente ou produto, de acordo com os significados que atribuem ao conceito de energia através de termos como ‘energia transmitida’ ou ‘carreguem energia durante as colisões’ (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 193-195).

As respostas dos alunos do ensino médio tendem a permanecer no nível do real observado, sem que conceitos científicos sejam inferidos explicitamente ou implicitamente. É comum que alunos utilizem concepções espontâneas que poderiam ser categorizadas como agente causal ou fontes, principalmente no ensino médio (BARBOSA e BORGES, p. 193-195).

Alunos que se encontram matriculados em níveis mais avançados da instrução formal costumam utilizar muitos termos e conceitos da física para justificar suas respostas. Isso não significa que as articulações desses conceitos apresentem significado, mas podem indicar maior cuidado com o uso dos conceitos.

Questão 4:

É comum a confusão no uso de termos/conceitos. Mais uma vez, as respostas dos alunos apresentam concepções espontâneas. Há confusão, por parte dos alunos de todas as turmas, com respeito ao uso das explicações da dinâmica newtoniana e do uso dos conceitos de energia mecânica. Alunos do

ensino médio associam o conceito de trabalho a objetos (corpos, esferas) e não associado à forças.

Questão 5:

Os alunos costumam utilizar grandezas como altura e velocidade para fazer referência às Energias potencial Gravitacional e cinética, ao invés de explicar os conceitos de energia potencial e cinética. Em nenhum momento os alunos reconhecem o caráter quadrático da velocidade durante o movimento ou durante citações da energia cinética.

3.1.1.3 Reconhecimento dos Significantes e Significados

A questão 6 tinha por finalidade investigar a compreensão das representações matemáticas (através de seus significantes e significados) por parte dos sujeitos. As três expressões e a tarefa consistiam na identificação dos significantes e nos significados conceitualmente operacionalizados.

Questão 6	
As expressões abaixo são usualmente apresentadas nos cursos de física básica. Cada uma delas se vale de símbolos que, sozinhos, representam alguma informação física. No entanto, ao serem ‘agrupados’ (articulados) numa expressão nos trazem outras informações associadas a cada um dos símbolos.	
a) Qual é o significado (informação física) de cada um dos símbolos (sozinhos) que aparecem nas expressões abaixo?	
b) Qual é o significado (informação física) de cada uma das expressões abaixo?	
Expressão	
1	$\Delta U = U_f - U_i = Q - W_{i \rightarrow f}$
2	$W_{i \rightarrow f} + W_{f \rightarrow i} = 0$
3	$\oint F \cdot dl = 0$

A tabela 14 mostra as categorizações das respostas:

Status	T	0	1	2	3	4	5
Ensino Médio	M	5,5%	9,3%	85,2%			
Fundam de Mecânica	N	56,2%	18,8%	18,8%	6,2%		
Corpos Rígidos e Flu	M	23,5%	11,8%	52,9%	11,8%		
Corpos Rígidos e Flu	N	18,2%	36,4%	36,4%	4,5%	4,5%	
Termo-Estatística	M	23,1%		69,2%	7,7%		
Mecânica 2	M	16,7%	8,3%	25,0%	33,3%	16,7%	
Termodinâmica	M			41,7%	41,7%	16,6%	
Termodinâmica	N	8,3%		66,7%	25,0%		

Tabela 14 – Status da operacionalização conceitual da questão 6.

Status	Exemplo de Resposta	Justificativa
4	“ ΔU = variação da energia interna, Q = calor recebido, W = trabalho realizado, $W_{i \rightarrow f} + W_{f \rightarrow i} = 0$ e $\oint \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} = 0$ são equivalentes; Ambas as expressões retratam a conservação da energia, na expressão 1 é proposto que a energia interna de um sistema (relacionado diretamente com a temperatura) varia conforme o sistema recebe ou cede calor e realiza ou recebe trabalho, as expressões 2 e 3 são equivalentes pois retratam o trabalho realizado para retirar e levar um corpo para a mesma posição (ou estado) inicial” (Aluno da disciplina de Termodinâmica).	O aluno identifica alguns dos significantes e mobiliza o significado das expressões apresentadas (capacidade em reconhecer os conceitos operacionalizado através dos significantes).
3	“ ΔU : variação de energia interna. Q : calor. W : trabalho realizado. $W_{i \rightarrow f}$: trabalho realizado entre i e f . $W_f \rightarrow i$: trabalho realizado de f para i . F : força. $d\mathbf{l}$: deslocamento infinitesimal b) A expressão se refere à primeira lei da termodinâmica, que se refere a conservação da energia. A expressão 2 diz que trabalhos realizados em caminhos opostos são iguais com sinais contrários. E a expressão 3 diz que o trabalho realizado num caminho fechado é igual a zero” (Aluno da disciplina de Termo-Estatística).	O aluno identifica corretamente os significantes, mas somente relaciona o significado da primeira expressão operacionalizado através de seus significantes.
2	“ Q = calor, ΔU = variação da energia, W = trabalho, F = força, l = distância”	O aluno identifica adequadamente os significantes

	(Aluno da disciplina de Corpos Rígidos e Fluídos).	das expressões, mas não explica o significado de nenhuma expressão apresentada.
1	“Expressão 1: variação de energia = carga – potência, expressão 2: potência final + potencia inicial = 0, Expressão 3: integral de força = 0” (Aluno da disciplina Fundamentos de Mecânica).	Este último exemplo ilustra a resposta de um aluno que identifica os significantes relevantes de acordo com a proposta apresentada.

Tabela 15 – Exemplos de respostas que nos permitiram realizar as categorizações da questão 6.

3.1.1.3.1 Gráficos

Gráfico 13 – Status 0 para as questões 6.

Gráfico 14 – Status 1 para as questões 6.

Gráfico 15 – Status 2 para as questões 6.

Gráfico 16 – Status 3 para as questões 6.

Gráfico 17 – Status 4 para as questões 6.

3.1.1.3.2 Comentários

Alunos do ensino médio tendem a interpretar as equações olhando apenas um dos membros da equação, por exemplo, $\Delta U = Q - W$, significaria ‘energia interna é igual a quantidade de calor menos trabalho’. Os próprios alunos do ensino médio reconhecem o caráter ‘funcional’ das equações ao responderem que servem para realizar cálculos. Aspectos operacionais do conceito-função (como apresentado na meta-discussão) também estão presentes nas respostas dos alunos de corpos rígidos e fluídos

3.1.2 Comentários finais

A finalidade desse nosso estudo exploratório era confirmar as dificuldades dos estudantes com relação ao quadro conceitual que envolve a conservação da energia mecânica (e sua degradação) e verificar e comparar como os estudantes em diferentes níveis de formação compreendem o conceito de energia mecânica.

Para isso, utilizamos 6 questões direcionadas a investigar a capacidade dos alunos na definição dos conceitos (questões 1, 2 e 6), em mobilizar e articulá-los nas situações de conservação e degradação (questões 3, 4 e 5) e de entendimento das equações matemáticas pertinentes à conservação da energia mecânica e sua degradação.

Embora nossa intenção estivesse voltada para o grau de avanço da aprendizagem dos alunos durante a instrução formal, o fato de utilizarmos questões nas quais os alunos responderam sem nenhum tipo de mediação, não nos possibilita inferir conclusões precisas a partir de suas respostas.

O que percebemos, contudo, é que no geral os alunos que se encontram em níveis mais avançados da instrução formal possuem maior facilidade na mobilização e articulação dos conceitos científicos. Nesse sentido, os dados apresentados por nós, confirmam que, de fato, há esse avanço conceitual, em concordância com os trabalhos de Saglam-Arslam (2010), Lee e Liu (2009) e até mesmo com os de Llancaqueo Henriquez, Jiménez-Gallardo e Diaz-Pinto (2013).

Outro aspecto observado é o que se refere às dificuldades dos alunos para responder algumas questões. De acordo com o apontado, as equações matemáticas, presentes na questão 6, foi a que os alunos demonstraram maiores dificuldades em atribuir significação (embora, no geral, tenham indicado o significado dos termos presentes).

Também percebemos dificuldades dos alunos no que diz respeito à definição do conceito de energia. A grande maioria não entende energia como um conceito decorrente de conversões, ou seja, num sentido muito próximo daquele utilizado por Feynman (2009). A definição adotada pela maioria dos alunos situa energia como a ‘capacidade de realizar trabalho’, em consonância com a constatação de Saglam-Arslam (2010).

Já na direção do apontado por Barbosa e Borges (2006), pudemos perceber o recorrente uso de concepções espontâneas por alunos matriculados nos diferentes momentos da instrução formal. Contudo, vale destacar que tal uso é mais comum em alunos do ensino médio e um pouco menos naqueles que cursavam a disciplina de fundamentos; os alunos matriculados em momentos da instrução mais avançados foram mais cuidadosos na escolha dos termos científicos, embora suas explicações dadas acabassem sugerindo a presença de algumas concepções espontâneas, como por exemplo, o uso indistinto de termos (força ao invés de energia).

No que diz respeito às colisões, os alunos fizeram uso da conservação da energia e da conservação da Quantidade de Movimento sem diferenciação. Aqui, há uma aproximação com o apontado por Carvalho e Villani (1996) ao realizarem suas entrevistas.

Para as situações da não-conservação da energia mecânica, muitos dos alunos não se fizeram valer do conceito de degradação e/ou da conservação da energia. Embora alguns tenham citado atrito ou aumento de temperatura, somente dois citaram, explicitamente, incremento no movimento das moléculas dos corpos em contato e/ou variação de energia interna.

Vale, contudo, destacar as limitações de um estudo exploratório. Por ter nossa intenção centrada 'naquilo que o sujeito apreende', pouco se pode afirmar. O que sabemos, continua sendo aquilo já conhecido pela literatura da área, como o fato de que há uma evolução na aprendizagem de acordo com o avanço da instrução formal e das dificuldades de aprendizagem. O que se pode inferir sobre aquilo que os alunos responderam sem nenhum tipo de mediação é muito próximo do que a literatura apresenta.

Além disso, temos que reconhecer o aspecto subjetivo da categorização; também podemos nos perguntar se os alunos responderam as questões com um bom grau de entendimento delas. Para essa nossa segunda colocação, percebemos que, após a tabulação dos dados, pareceu-nos que, talvez, nem todas as questões foram bem compreendidas pela maioria (exceções às questões 1, 2 e 6).

Sendo assim, nossa proposta é a de avançar um pouco mais nesse sentido. Devemos, para isso, retomar o que se entende por conceito, assim como fizemos na 'meta-discussão' para podermos prosseguir. No entanto, diferentemente do primeiro capítulo, voltado ao conceito científico, temos que buscar o que a psicologia cognitiva entende por conceito e qual relação estabelece com os conceitos científicos durante a aprendizagem.

3.2 Estudo Aprofundado

Passemos agora à investigação daquilo que *sobrevive* durante os vários momentos da instrução formal. Como deixamos claro através dos resultados

apresentados no subitem 3.1, as investigações sobre aprendizagem pouco contribuem quando se trata de apontar como os conceitos apreendidos na escola interagem com os conceitos cotidianos, *quais* desses conceitos *sobrevivem e como sobrevivem*.

Noutro sentido, a limitação inerente ao método utilizado nos oferece dados que pouco contribui quando se trata de investigar os conceitos *sobreviventes*. A amostra é demasiadamente pequena para que seja, de fato, considerada como boa margem dados estatísticos; a análise é subjetiva; as respostas dos alunos nem sempre são capazes de expressar, por completo, aquilo que pensam sobre determinada questão; talvez, nem mesmo a própria questão tenha sido completamente compreendida pelo aluno.

No entanto, há que se reconhecer que ocorre uma melhora gradual nas respostas dos sujeitos de acordo com o avanço da instrução formal. E esse é um bom indicativo que devemos considerar para o início do estudo aprofundado. Outro aspecto que devemos considerar, a partir do estudo preliminar, são as concepções espontâneas utilizadas em diversas questões, por alunos nos diferentes momentos da instrução formal.

Parece-nos aqui haver um problema. De que forma é possível que, ao mesmo tempo em que os alunos avancem em suas explicações, continuem recorrendo às explicações das concepções espontâneas? Até que grau o uso de tais concepções nas respostas são conscientes e até que grau elas não são conscientes? O que as respostas dos alunos *transmitem* é, de fato, *aquilo* que eles pensam? Para podermos pensar essas questões, apresentaremos a análise e discussão das entrevistas realizadas com os sujeitos-em-ação quando colocados em situação de resolução de tarefas.

3.2.1 Análise e discussão das entrevistas

3.2.1.1 O Caso Güenther

Nível de instrução: 3º ano ensino médio		
Idade: 17 anos		
Respostas para as questões de acordo com as situações propostas		
Situação 1: <i>Looping</i>		
<u>Questão aberta (A):</u>		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: Güenther reconhece o <i>looping</i> da foto.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: Para explicar o fenômeno o aluno relaciona a altura com que o corpo é solto à velocidade que atinge no ponto mais baixo da trajetória; depois, a velocidade deste ponto mais baixo com a altura que atingirá na parte interna do <i>looping</i>.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno aplica os seguintes teoremas-em-ato “energia potencial Gravitacional é proporcional à altura”; “energia cinética é proporcional à velocidade” e “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada”.</p>		
<i>Comentários:</i>		
<p>✓ O aluno vincula, explicitamente, na questão aberta, a altura de onde o corpo é solto e a velocidade que atinge no ponto mais baixo, do <i>looping</i>; para depois vincular a velocidade do ponto mais baixo com a possível altura alcançada no interior do <i>looping</i>.</p> <p>✓ A explicação do aluno remete, explicitamente, a conversão entre altura e velocidade; ou seja, a altura é convertida em velocidade e a velocidade é convertida em altura.</p>		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Explique em quais condições o	“ele precisa ter uma certa altura pra que a força seja proporcional”.	- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada.

carrinho pode atingir a altura máxima.		
Comentário:		
✓ O teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas a energia mecânica total de um sistema se conserva” é frágil. O aluno não explicita o princípio de conservação da energia e prefere se valer do termo “força” e que haja sua conservação. O uso do termo força poderia ser categorizado como força e movimento ao pensarmos nas pesquisas sobre concepções espontâneas (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 193-195).		
Situação 2: Colchão de ar		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: Güenther reconhece a mesa de ar na foto.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno explica, de modo pertinente, o princípio de funcionamento da mesa, com o ar ejetado por seus vários orifícios, possibilitando que o disco deslize, sem atrito, sobre o ‘colchão de ar’.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real a um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno aplica, de maneira implícita, os teoremas-em-ato “energia cinética é proporcional à velocidade” e “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica (cinética) é conservada”.</p>		
Comentários:		
<p>✓ O sujeito recorre ao conceito-em-ato do real (atrito) de maneira explícita para explicar o fenômeno observado.</p> <p>✓ O sujeito utiliza, implicitamente, o teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas a energia mecânica (cinética) é conservada” ao explicar o movimento do disco sobre a mesa.</p>		

Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Função do colchão de ar.	“O ar tem que manter a peça, [...], flutuando ou acima da mesa para que não tenha atrito dele com a mesa e consiga deslizar”.	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficiente de atrito (conceito-em-ato). - Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica (cinética) é conservada (teorema-em-ato). - Energia cinética é diretamente proporcional à velocidade (teorema-em-ato).
Causa do movimento inicial.	“Tem que ter uma força atuando sobre ele [o disco] [...]. O batedor do jogo, vai exercer uma força sobre o disco e essa força vai fazer com que ele se desloque”.	<ul style="list-style-type: none"> - Impulso (conceito-em-ato).
Colisão do disco nas laterais da mesa.	“O disco vai exercer uma força sobre a parede lateral e a parede lateral vai exercer uma força sobre o disco, vai ser uma força contrária sobre o disco e vai fazer com que o disco volte”.	<ul style="list-style-type: none"> - As forças atuam aos pares (conceito-em-ato). - Lei da ação e reação (conceito-em-ato). - Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada (teorema-em-ato). - A variação da quantidade de movimento, num sistema isolado, é conservada (teorema-em-ato). - $\Delta \vec{Q}_{sistema} = \vec{0}$ (teorema-em-ato). - Numa Colisão perfeitamente Elástica, a energia cinética é conservada (teorema-em-ato).
Comentários:		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ O aluno reconhece a papel do atrito como agente resistivo ao movimento. ✓ O aluno vale-se de maneira pertinente das ‘leis de Newton’ para explicar a causa do movimento inicial e a colisão do disco nas laterais da mesa. O conceito-em-ato “lei da ação e reação” parece estabilizado pelo sujeito. 		

Situação 3: Plano inclinado		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece as duas figuras apresentadas na situação.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: Güenther relaciona a variação da velocidade do bloco com o atrito existente entre ele e a superfície áspera; considera que os dois blocos possuem a mesma energia potencial Gravitacional inicial.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno aplica os seguintes invariantes operatórios “a energia potencial Gravitacional é proporcional à altura” (teorema-em-ato) de maneira explícita e “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada” (teorema-em-ato).</p>		
Comentários:		
<p>✓ O teorema-em-ato “a energia potencial Gravitacional é proporcional à altura” foi utilizado de forma consciente pelo sujeito ao afirmar que no ponto de máxima altura os dois blocos possuem a mesma energia potencial Gravitacional.</p> <p>✓ O aluno não faz menção, de maneira explícita, ao teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada”, mas a identificação da modalidade de energia inicial (potencial Gravitacional) e que há dissipação, devido ao atrito, dá-nos condições de inferir a existência de tal teorema, de maneira implícita.</p> <p>✓ O fato de o aluno mencionar que haverá diferença nas velocidades dos blocos ao atingirem as superfícies horizontais nos permite inferir o seguinte teorema-em-ato “a energia mecânica inicial (potencial Gravitacional) será convertida, parcialmente, em energia mecânica (cinética) e calor (atrito)”.</p>		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Variação da velocidade.	“...Primeiro, os dois blocos vão ter, sofrer a mesma ação da gravidade, eles estão na mesma altura, eles vão ter a mesma força acumulada. [...] tem atrito nos dois...nas duas rampas, o primeiro bloco vai ficar menos tempo	<p>- Energia potencial gravitacional é proporcional à altura (teorema-em-ato).</p> <p>- Energia cinética é proporcional à velocidade</p>

	em contato com a rampa, então ele vai perder menos velocidade [...]. Já o segundo bloco ele vai ficar mais tempo em contato com a rampa, perdendo mais velocidade por causa do atrito, então ele vai ter uma quantidade menor”.	(teorema-em-ato). - $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ (teorema-em-ato).
Tempo de descida.	“Acho que na primeira ele vai chegar num menor tempo, [...] a rampa vai ser menor, então ele tem que se deslocar menor”.	
Tradução matemática.	“Velocidade média, [...] e pra falar do atrito você poderia usar, desenhar as forças e fazer o esquema de forças no bloco”.	- $F_{resultante} = m.a$ (teorema-em-ato).

Comentários:

- ✓ O sujeito utiliza o termo ‘força acumulada’ para referir-se ao conceito de energia potencial Gravitacional. Numa eventual investigação para detectar concepções espontâneas, ou modelos mentais iniciais, tal termo poderia ser categorizado como energia (ou agente causal) e/ou como associada à força e movimento (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 193-195).
- ✓ O sujeito relaciona o fenômeno através do seguinte teorema-em-ato “a variação da velocidade do bloco é inversamente proporcional ao tempo em que permanecer sob a influência de forças dissipativas”. Como consequência desse teorema-em-ato, pode-se inferir que a “energia mecânica inicial do bloco é igual à sua energia cinética ao atingir a superfície horizontal mais o pseudo-trabalho da força de atrito” (teorema-em-ato), ou em expressão matemática seria algo como: “ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ” (teorema-em-ato), ou $E_{pot}^i = W_{atrito} + E_{cin}^{final}$ (teorema-em-ato).
- ✓ Para explicar a tradução matemática do fenômeno, o aluno mobiliza o “diagrama de forças” sem mencionar o princípio de conservação da energia.
- ✓ Pensamos que o conceito de energia interna poderia ajudar o aluno na explicitação do teorema-em-ato “ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ”. Nesse caso, concordamos com Nordine, Krajcik e Fortus (2011) acerca da forte influência exercida pelos materiais instrucionais. Acreditamos que tal conceito [energia interna] deve ter sido tratado durante o ensino médio, privilegiando discussões na perspectiva de ‘conceito-função’ em detrimento

da natureza do conceito. Essa crença é reforçada nos relatos dos próprios alunos do ensino médio ao responderem a questão 6 do estudo preliminar. Naquela ocasião, muitos alunos justificaram as expressões como ‘servem para calcular’ [isso ou aquilo] sem mencionar o significado físico ali presente⁴².

Situação 4: Colisão inelástica

Questão aberta (A):

- 1. Tomada de informação sobre o real:** Güenther reconhece a colisão entre os veículos como apresentado na figura.
- 2. Explicação do fenômeno:** O aluno relaciona a colisão com a lei da ação e reação, lei da inércia e força normal. As relações são estabelecidas de maneira confusa e sem significação.
- 3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s):** O aluno relaciona o fenômeno apresentado com a lei da ‘ação e reação’ (conceito-em-ato) e a lei da ‘inércia’.

Comentário:

- ✓ Güenther não consegue estabelecer relação entre a colisão e conceitos pertinentes. Recorre à força normal e leis da dinâmica para explicar o fenômeno.

Questão mediada (M):

Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Velocidade dos veículos.	“...ao bater um no outro, [...], ao receber a velocidade do outro mais a velocidade que ele tava indo, então você gerou impacto dobrado”. “a velocidade final seria zero, pois os dois pararam! ... provavelmente eles estavam com a mesma velocidade”.	
Deformação.	“Que eles estavam em altas velocidades”.	
Tradução matemática.	“Velocidade uniformemente variada ou velocidade mesmo”.	- $v = v_0 + at$. - $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S$.

⁴² Ver subitem 3.1.1.3 (comentários).

		<div>- $s = s_0 + v_0 + \frac{1}{2}at^2$.</div> <div>- $v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$.</div>
Comentário:		
✓	O aluno não demonstra capacidade de relacionar o fenômeno apresentado com os conceitos pertinentes, tais como conservação da energia mecânica e Quantidade de Movimento.	
Situação 5: Colisão elástica		
Questão aberta (A):		
1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece os principais elementos presentes na figura (blocos e mola), relacionando-os com uma colisão.		
2. Explicação do fenômeno: O aluno explica que os blocos colidir-se-ão e a mola contrair-se-á para, a seguir, retornar a sua forma original, impulsionando os blocos em sentidos opostos.		
3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real a um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno associa, de modo pertinente, a energia cinética dos blocos, antes da colisão à energia potencial Elástica ‘acumulada’ pela mola com o teorema-em-ato “a energia potencial Elástica é proporcional à variação do comprimento da mola”. Durante a compressão e sua subsequente expansão e ‘retomada’ do movimento dos blocos, em sentidos opostos, com o seguinte teorema-em-ato “numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada”.		
Comentários:		
✓	O sujeito utiliza o termo ‘força’ num sentido muito próximo ao conceito de energia. Tal uso poderia, novamente, ser categorizado como ‘força e movimento’ nas pesquisas sobre concepções espontâneas (BARBOSA, BORGES, 2006, p. 193-195).	
✓	O teorema-em-ato “numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada”, invocado pelo sujeito, também pode ser interpretado, por extensão, como “na ausência de forças dissipativas, a energia cinética é	

conservada” a fim de simplificar nossas análises.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Qual papel da mola?	“Receber a força de impacto e depois passar aos pouquinhos”.	<ul style="list-style-type: none"> - Força restauradora (conceito-em-ato) - Energia potencial elástica (conceito-em-ato) - A variação da quantidade de movimento, num sistema isolado, é conservada (teorema-em-ato) - $\Delta \vec{Q}_{sistema} = \vec{0}$ (teorema-em-ato). - Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada (teorema-em-ato). - Numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada (teorema-em-ato).
A velocidade dos blocos antes, durante e após a colisão.	“Antes da colisão, vamos falar que as velocidades não são nulas, durante a colisão, provavelmente eles pararam, então eles não tinham velocidade e após, as velocidades também não eram nulas”.	
Tradução matemática.	“Podemos usar um esquema de forças também, peso, normal”.	- “ $F_{resultante} = m.a$ ” (teorema-em-ato).
Comentários:		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ A presença de invariantes operatórios que remetem à dinâmica newtoniana é expressiva nas explicações invocadas pelo aluno. ✓ Em suas manifestações ele usa o conceito de força em dois sentidos distintos. Ao mencionar a capacidade da mola em ‘receber e passar a força dos blocos’ ele mobiliza, de maneira implícita, o conceito de força newtoniana sem, no entanto, valer-se do termo; noutro, ao mobilizar o termo “força”; ele se aproxima do conceito de energia potencial Elástica. 		
Situação 6: Dissipação da energia mecânica em forma de calor		
Questão aberta (A):		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomada de informação sobre o real: Güenther reconhece a figura apresentada. 2. Explicação do fenômeno: O aluno relaciona, de modo pertinente, os blocos parados, comprimindo a mola e a possibilidade do movimento, considerando a superfície rugosa, a superfície lisa e o fato dos blocos serem de gelo. 		

3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno inicia sua explicação com o conceito-em-ato “força elástica”. Os teoremas-em-ato invocados pelo sujeito são “na ausência de forças dissipativas, a energia cinética é conservada” ao mencionar a manutenção do movimento do bloco sobre a superfície lisa e; “a energia mecânica inicial (potencial) é igual ao pseudo-trabalho da força de atrito mais sua energia mecânica (cinética) sobre a superfície horizontal” (ou $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$).		
Comentário:		
✓ O aluno mobiliza aspectos da dinâmica newtoniana para explicar a situação. Contudo, em alguns momentos, recorre a ideias de conversão remetendo à noção de conservação da energia.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
A velocidade inicial de cada bloco após o fio ser rompido.	S: “Quando começaram a ganhar velocidade só e empurrar os dois.” P: “E as velocidades são iguais?” S: “Eu acredito que não, porque uma das superfícies é rugosa, então você vai ter atrito.”.	
Distâncias percorridas.	“... o bloco que está na superfície rugosa, ele vai começar a perder velocidade [...], porque ele tem atrito, então ele vai se deslocar menos...”.	- $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ - (teorema-em-ato).
Massa do bloco no atrito.	“...talvez tenha uma variação mínima, porque ele vai ter um atrito com a superfície...”.	
Tradução matemática.	“...pode usar um esquema de forças com atrito, pode usar a velocidade também e a força elástica da mola”.	- $F_{resultante} = m.a$ - (teorema-em-ato).
Comentário:		
✓ O aluno não mobiliza, em nenhum momento, o princípio de conservação da energia. Suas explicações ocorreram de maneira genérica e com a presença de invariantes da dinâmica newtoniana.		

Situação 7: Relógio de Pêndulo		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: o aluno reconhece a foto do relógio de pêndulo apresentado.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: o aluno associa o funcionamento do relógio com a oscilação do pêndulo e as engrenagens internas.</p>		
Comentário:		
<p>✓ O aluno não estabelece nenhuma relação do fenômeno com invariantes operatórios relevantes.</p>		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Causa/manutenção do movimento.		<p>- $\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$, (teorema-em ato).</p>
Posição de máxima velocidade do pêndulo.		
Forças que atuam no pêndulo no movimento descendente e ascendente num mesmo ponto.		
Vetor $d\vec{s}$ num mesmo ponto com o corpo no movimento descendente e no movimento ascendente.		
Tradução matemática do fenômeno.		
Comentários:		
<p>✓ Em nenhum momento o aluno faz menção à energia mecânica envolvida na situação. Contudo, durante a mediação foi possível perceber o conflito existente em seu pensamento em decorrência do pêndulo parar. Para o aluno, teoricamente e de acordo com suas explicações, o pêndulo não deveria parar.</p>		

✓ Embora o teorema-em-ato “ $\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$ ” não seja explícito, podemos inferi-lo a partir do momento no qual o sujeito identifica os sentidos das forças num mesmo ponto e o sentido da velocidade.		
Situação 8: Queda livre		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece a situação apresentada na figura.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno explica que a bolinha é lançada para cima com certa força e velocidade inicial. A bolinha é desacelerada pelo efeito da força da gravidade, para e volta à mão do garoto.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno lança mão dos seguintes invariantes operatórios: (1) “impulso” (conceito-em-ato) ao afirmar que o garoto joga a bolinha para cima com certa força e velocidade; (2) “energia cinética é proporcional à velocidade” no momento do lançamento e; (3) ao afirmar que a bolinha sofre uma força contrária ao movimento ascendente, desacelerando-a, ele lança mão do teorema-em-ato “$F_{resultante} = m.a$” (ou “$P = m.g$”).</p>		
Comentário:		
- Em nenhum momento o aluno utiliza invariantes-operatórios que mencionem o princípio de conservação da energia. Ao contrário disso, ele lança mão de invariantes que recorrem à dinâmica newtoniana.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Causa do movimento.	“...ele [o menino] vai estar aplicando uma força e uma velocidade pra cima [sobre a bolinha]”	<ul style="list-style-type: none"> - Impulso (conceito-em-ato). - $I = F \cdot \Delta t$ (conceito-em-ato).
Evolução da velocidade e da altura do corpo.	“Elas [velocidade e altura] são inversamente proporcionais”.	<ul style="list-style-type: none"> - Energia potencial é proporcional à altura (teorema-em-ato). - Energia cinética é

		<p>proporcional à velocidade (teorema-em-ato).</p> <p>- As Energias potencial e cinética são inversamente proporcionais durante o movimento vertical (teorema-em-ato).</p>
Tradução matemática.	<p>“Fórmulas para movimentos verticais de queda e pra movimento acelerado”.</p>	<p>- $v_y = v_{y0} \pm g \cdot t$</p> <p>- $y = y_0 + v_0 \pm \frac{1}{2} g t^2$</p> <p>- $v_y^2 = v_0^2 \pm 2g\Delta S$</p>
<p>Simetria no movimento (totalmente mediado através do auxílio do pesquisador).</p>	<p>Passo 1) Eq. Torricelli:</p> $V^2 = v_0^2 + 2g\Delta S$ <p>1) Desenhando reta vertical:</p> <p>1) Reescrevendo:</p> $v_{er}^2 = v_0^2 - 2g\Delta h$ $v_{er}^2 = v_0^2 - 2g(h_{er} - h_0)$ <p>1) Distribuindo:</p> $v_{er}^2 = v_0^2 - 2gh_{er} + 2gh_0$ <p>1) Rearticulando:</p>	

	<div data-bbox="486 190 917 280" data-label="Equation-Block"> $v_b^2 + 2gh_b = v_a^2 + 2gh_a$ </div> <p>5) Substituindo supostos índices 'c' e 'd':</p> <p>P: "Se fosse d? d e c? Mudaria o que?"</p> <p>S: "Ficaria v_c quadrado, duas vezes a gravidade, a altura c igual a v_b quadrado mais duas vezes a gravidade vezes a altura b"</p> <p>P: "Agora eu vou pedir pra você dividir tudo por 2"</p> <p>S: ...</p> <p>P: "Você reconhece essa formulinha?"</p> <p>S: "Sim, é..."</p> <p>P: "E se você multiplicar tudo por m?"</p> <p>S:</p> <div data-bbox="486 929 997 1019" data-label="Equation-Block"> $\frac{m v_b^2}{2} + mgh_b = \frac{m v_a^2}{2} + mgh_a$ </div> <p>P: "Ela te lembra alguma coisa?"</p> <p>S: "Sim"</p> <p>P: "O que ela te lembra?"</p> <p>S: "Lembra...lembra mgh...mgh é o peso numa altura..."</p> <p>P: "Seria o que?"</p> <p>S: "energia potencial"</p> <p>P: "Tudo isso daqui junto, te lembra alguma coisa?"</p> <p>S: "Lembra"</p> <p>P: "O que?"</p> <p>S: "São as energias"</p>	
<p style="text-align: center;">Comentários:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ O aluno utiliza o conceito-em-ato "impulso" para explicar o movimento inicial adquirido pela bolinha a partir da mão do garoto. ✓ Ao utilizar o invariante operatorio "a velocidade do corpo é inversamente proporcional à sua altura", assim como na situação 1, não menciona o fator quadrático da velocidade. ✓ O aluno mobiliza as equações da cinemática para explicar o fenômeno, sem relacioná-los diretamente ao fenômeno. Acreditamos que tal mobilização 		

deve-se à perspectiva adotada pelos materiais instrucionais com o 'conceito-função' associado aos exercícios exemplares.

- ✓ O aluno percebe a existência da invariância da simetria na equação desenvolvida, sob mediação do pesquisador, reconhece a equação final como as “Energias”, mas não toma consciência da simetria nessa situação, da mesma forma como não menciona tratar-se da conservação da energia mecânica.
- ✓ O aluno menciona o fato de mgh ser “peso numa altura” sem se dar conta que se trata do teorema trabalho-energia⁴³.

3.2.1.1.1 Invariantes Operatórios utilizados no conjunto das Situações apresentadas

Chamaremos de invariantes do tipo genérico às inferências realizadas a partir das respostas dos alunos de maneira geral, sem manifestar relação com outros invariantes e implicações do fenômeno apresentado. Por invariantes do tipo contextualizado chamaremos aos invariantes mobilizados pelos sujeitos com grau elevado de articulação conceitual com outros invariantes. Caso os invariantes utilizados pelos sujeitos não sejam explicitados, mas possam ser inferidos de maneira indireta em suas respostas, referíamo-nos a eles como sendo implícitos. Denotaremos aqui invariantes do tipo genérico (G), contextualizado (C) e implícito (I) como sendo aqueles mobilizados pelos sujeitos durante suas condutas na ação. Acreditamos que, dessa forma, conseguiremos aproximar os invariantes presentes nas inferências realizadas a partir das condutas daquilo que Vergnaud trata como invariantes quantitativos, qualitativos e relacionais, assim como as regras de controle produtivo ou regras de controle não produtivo⁴⁴.

⁴³ Vale destacar o caráter 'prático' pelo qual o aluno se refere à mgh como sendo peso numa altura. Embora não haja nenhuma aproximação na construção conceitual, os argumentos de utilizados por L. Carnot também eram práticos (inseridos em contextos e sob influências totalmente distintas). Ver subitens 1.4.1.1 e 1.4.2.1.

⁴⁴ Ver subitem 2.2.2.

1. Os invariantes operatórios [R-C]:

Invariantes Operatórios [R-C]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“energia potencial gravitacional é proporcional à altura”.	$\frac{1}{G}$		$\frac{1}{G}$					$\frac{1}{G}$
“energia cinética é proporcional à velocidade”.	$\frac{1}{G}$	$\frac{1}{G}$	$\frac{1}{G}$					$\frac{1}{G}$
“Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada”.	$\frac{1}{G}$	$\frac{1}{G}$	$\frac{1}{G}$		$\frac{1}{G}$	$\frac{1}{G}$	$\frac{1}{G}$	
“A variação da quantidade de movimento, num sistema isolado, é conservada”.		$\frac{1}{G}$			$\frac{1}{G}$			
“Numa Colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada”.		$\frac{1}{G}$			$\frac{1}{G}$			
“ $\Delta \vec{Q}_{\text{sistema}} = \vec{0}$ ”.		$\frac{1}{G}$			$\frac{1}{G}$			
“ $F_{\text{resultante}} = m.a$ ”.			$\frac{1}{G}$		$\frac{1}{G}$			$\frac{1}{G}$
“A energia potencial Elástica é proporcional à variação do comprimento da mola”.					$\frac{1}{G}$			

Tabela 16 - I.O. do tipo [R-C] de Güenther.

2. Os invariantes operatórios interpretativos [C-C]:

Invariantes Operatórios [C-C]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“A energia mecânica inicial será convertida, parcialmente, em energia mecânica final e calor (atrito)”.			$\mathcal{U}$			$\mathcal{U}$		
“As Energias potencial e cinética são inversamente proporcionais durante o movimento vertical”.								$\mathcal{U}$
“ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ”.			$\mathcal{U}$			$\mathcal{U}$		
“ $\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$ ”.							$\mathcal{U}$	

Tabela 17 - I.O. do tipo [C-C] de Güenther.

3.2.1.1.2 Conceitos não mobilizados

- Güenther não mobiliza, de maneira explícita o princípio de conservação da energia mecânica. Em algumas situações (por exemplo, situação 3), menciona modalidades de energia sem fazer referência direta ao princípio de conservação.
- O conceito de trabalho, ou pseudo-trabalho, não foi utilizado de maneira explícita, em nenhum momento pelo sujeito.
- Durante situações que envolvem atrito, o aluno não recorre aos aspectos microscópicos, como, por exemplo, o conceito de energia interna.

3.2.1.1.3 Organização das condutas

a. Combinação de invariantes operatórios de maneira explícita

- O sujeito mobiliza de maneira explícita, ou consciente, apenas o teorema-em-ato “ $F_{resultante} = m.a$ ” nas situações 3. O uso desse invariante também é colocado

em jogo, de maneira implícita, nas situações 5 e 8 acerca das possíveis expressões que poderiam explicar os fenômenos envolvidos.

- É possível perceber nas respostas do aluno, no que se refere aos movimentos verticais (situações 1, de maneira implícita e 8, explicitamente), o invariante operatório “a velocidade do corpo é inversamente proporcional à sua altura” sendo mobilizado ao invés de mencionar que a variação da energia potencial é inversamente proporcional à variação da energia cinética (na ausência de forças externas).

b. Combinação de invariantes operatórios de maneira implícita

- De acordo com as inferências realizadas o aluno recorre, implicitamente, a alguma forma de conservação da energia em quase todas as situações (exceção deve ser feita à situação 4).

- Chamou atenção durante a mediação da situação 8, a percepção que o aluno teve da simetria presente no desenvolvimento da ‘equação de Torricelli’ e no ‘surgimento’ das ‘formulinhas da energia potencial e cinética’. Aos nossos olhos, a manifestação do aluno foi neutra em decorrência das várias operações matemáticas realizadas e pelo pouco ‘treino conceitual’ (tendo em vista a perspectiva adotada pela escola em privilegiar mais ‘conceitos-função’ e menos a natureza dos conceitos).

3.2.1.1.4 Controle sobre os aspectos do real

a. Com controle produtivo

- Durante a situação 3, o aluno relaciona, espontaneamente, o conceito-em-ato “atrito” com a extensão do plano inclinado e as diferentes variações das velocidades dos blocos.

- O teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada”, inferido em diversas situações foi utilizado de maneira inconsciente, mas com controle produtivo pelo sujeito.

- O aluno demonstrou correta mobilização e articulação do raciocínio durante a situação 5, com o teorema-em-ato “numa colisão perfeitamente elástica, a

energia cinética é conservada” (inferência) ao contextualizar, de modo pertinente, sua resposta na mediação.

b. Sem controle produtivo

- Percebemos que o sujeito-em-situação preferiu mobilizar e articular os conceitos da dinâmica newtoniana, tais como forças, diagrama de forças, leis etc ao invés do princípio de conservação. Acreditamos que a origem desse uso excessivo da dinâmica newtoniana ocorra por estar mais próximo daquilo que se observa cotidianamente (reforçado pelos manuais de ensino).

- Durante a situação 3, o teorema-em-ato inferido “a energia mecânica inicial (potencial gravitacional) será convertida, parcialmente, em energia mecânica (cinética) e calor (atrito)” foi utilizado pelo sujeito, sem nenhum controle produtivo, ao explicar que as variações das velocidades dos dois blocos seriam diferentes, considerando suas extensões e a mesma energia potencial gravitacional inicial associada aos blocos.

- O teorema-em-ato inferido “ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ” está presente nas explicações do sujeito, em nível de significantes. Vale lembrar, neste caso, que se trata de significantes e que, portanto, o aluno não parece ter domínio, de maneira consciente, desse invariante por tratar-se de conhecimento formalizado. O mesmo raciocínio é válido para “ $I = F \cdot \Delta t$ ” (conceito-em-ato), “ $\Delta \vec{Q}_{sistema} = \vec{0}$ ” e “ $\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$ ”.

- O teorema-em-ato “ $F_{resultante} = m \cdot a$ ” é utilizado pelo sujeito sem controle produtivo do conhecimento, ou automatizado. Diferentemente do que se possa pensar, o aluno recorre a esse teorema por ser validado durante situações recorrentes. O aluno não demonstrou capacidade de avanço com o uso do teorema.

- Na situação 4, durante a questão aberta, o sujeito recorre a conceitos como “inércia” e “lei da ação e reação” para explicar o perigo das colisões para as pessoas (no sentido de acidente), sem considerar os fenômenos físicos envolvidos. O aluno não parece ter controle produtivo dos conceitos mobilizados.

3.2.1.2 O Caso Geraldo

Nível de instrução: 3º ano ensino médio		
Idade: 18 anos		
Respostas para as questões de acordo com as situações propostas		
Situação 1: <i>Looping</i>		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece o <i>looping</i> apresentado na foto.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno explica o movimento do corpo solto sobre o lado inclinado como sendo oscilatório, desconsiderando a possibilidade de completar a trajetória do <i>looping</i>.</p>		
Comentários:		
<p>✓ O sujeito não mobiliza conceitos relacionados à conservação de energia mecânica. Ao invés disso, afirma que o corpo “irá subir e irá voltar com a mesma força que soltamos”.</p> <p>✓ O sujeito parece usar o termo “força” no sentido de quantidade de movimento.</p>		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Explique em quais condições o carrinho pode atingir a altura máxima.	<p>S: “Se a força normal for igual a força peso do carrinho”</p> <p>...</p> <p>P: “E pra ele subir até chegar no ponto mais alto? Tem que ser solto de qual lugar? (apontando para o plano inclinado)”.</p> <p>...</p> <p>P: “Tem uma altura mínima?”.</p> <p>S: “...”</p> <p>...</p> <p>S: “Tem que ser da mesma altura né?!”. P: “Por que?”. S: “Porque aí ele vai fazer, ele vai partir dum lugar e vai voltar pro mesmo lugar”.</p>	<p>- $F_{resultante} = m.a$ (teorema-em-ato).</p> <p>- Um corpo solto, de determinada altura, numa trajetória fechada atingirá a mesma altura da qual foi solto (teorema-em-ato).</p> <p>- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada (teorema-em-ato)</p> <p>- Energia potencial gravitacional é proporcional à altura (teorema-em-ato).</p>

Comentários:		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ A questão mediada sugere que o aluno apresenta dificuldades na compreensão do fenômeno. ✓ O aluno responde de forma fragmentada à questão inicial, assim como os demais momentos da mediação, recorrendo à esquemas de forças ou utilização de invariantes ou sem articulação ou com dificuldade em articulá-los. ✓ Os invariantes mobilizados pelo sujeito possuem forte relação com o real (forças, distância, velocidade, altura). 		
Situação 2: Colchão de ar		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece a mesa de ar apresentada na foto.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno explica o funcionamento do jogo e suas devidas regras sem, no entanto, recorrer a nenhum invariante operatório.</p>		
Comentário:		
✓ Geraldo não mobiliza nenhum invariante operatório para explicar o funcionamento do jogo. Sua explicação se limita aos objetivos, regras e dinâmica do jogo.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Função do colchão de ar.	<p>S: “É que o disco, os dispositivos que funcionam como ‘vassoura’, tipo ‘vassoura’ eles deslizam sobre a mesa”.</p> <p>...</p> <p>P: “E se não tivesse o ar?”.</p> <p>S: “Não iriam conseguir deslizar. Ia ter o atrito”.</p>	<p>- Atrito (conceito-em-ato).</p> <p>- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada (teorema-em-ato).</p>
Causa do movimento inicial.	<p>S: “Você tem que bater nele”.</p> <p>...</p> <p>P: “E quando você pega a vassoura e bate no disco, o que é que você está fazendo?”</p> <p>S: “Aplicando uma força”.</p>	<p>- Impulso (conceito-em-ato).</p> <p>- $I = F \cdot \Delta t$ (conceito-em-ato).</p>
Colisão do disco nas laterais da mesa.	S: “Eu atuo com uma força sobre ela mesma que, conforme o disco vem eu tenho que fazer um	

	movimento do mesmo jeito que ela vem, não sei...	
Comentário:		
✓ Geraldo demonstra dificuldades na mobilização dos conceitos pertinentes à situação tratada.		
Situação 3: Plano inclinado		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: Geraldo reconhece a figura apresentada.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno limita-se a afirmar que “pode ocorrer um atrito entre o bloco e o plano”.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno mobiliza apenas o conceito-em-ato “atrito” ao associá-lo com o bloco e plano.</p>		
Comentário:		
✓ O aluno mobiliza apenas o “atrito” (conceito-em-ato), não oferecendo nenhuma possibilidade de inferência acerca de seu raciocínio para a questão aberta.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Variação da velocidade.	“...esse aqui (aponta para o primeiro plano inclinado) pode até chegar...chegar mais rápido, mas acho que vai chegar”	
Tempo de descida.	“Eu tô em dúvida...no primeiro caso”.	
Tradução matemática.	“Do px”. “Também tem o py...” “força de atrito...”	- $F_{resultante} = m.a$ (teorema-em-ato).
Comentários:		
✓ O aluno não mobiliza, explicitamente, nenhum conceito envolvendo a conservação da energia mecânica.		
✓ Para expressar a tradução matemática, Geraldo vale-se do teorema-em-ato “ $F_{resultante} = m.a$ ”.		

Situação 4: Colisão inelástica		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece o fenômeno apresentado na figura.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno identifica como uma “colisão entre os carros”.</p>		
Comentário:		
✓ Geraldo limita-se a identificar o fenômeno da figura como uma ‘colisão’.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Velocidade dos veículos.	<p>S: “Na minha opinião, elas são iguais”.</p> <p>P: “Antes, durante ou após a colisão?”</p> <p>S: “Antes”.</p>	
Deformação.	<p>S: “...a força que um atuou no outro agiu aí a coisa foi igual”.</p> <p>P: “O que é que a coisa foi igual?”</p> <p>S: “... A colisão foi igual”.</p> <p>P: “E sobre a deformação, porque que eles deformaram?”</p> <p>S: “Porque é que deformam”.</p> <p>...</p> <p>P: “ O que ela significa [colisão]?”</p> <p>S: “Significa...ah...não sei”</p>	
Tradução matemática.	<p>S: “energia cinética, eu acho”.</p> <p>P: “Porque?”</p> <p>S: “Porque cada carro vai ter uma massa, vamos dizer assim, uma velocidade, uma distância...”.</p> <p>P: “O que acontece com essa energia depois da colisão?”</p> <p>S: “Não sei dizer.”</p> <p>P: “Nesse caso, não tem conservação de energia?”</p> <p>S: “É, eu acho que conserva sim”.</p> <p>P: “Conserva energia mecânica?”</p> <p>S: “Conserva”.</p>	<p>- Energia cinética é proporcional à velocidade (teorema-em-ato)</p> $T = E_{cin} = \frac{1}{2}mv^2$ <p>(conceito-em-ato)</p>

Comentários:		
✓ Geraldo mobiliza o conceito-em-ato “energia mecânica” para o momento anterior à colisão, numa associação com a velocidade e massa dos veículos. ✓ O aluno não consegue articular o princípio de conservação da energia com o fenômeno observado.		
Situação 5: Colisão elástica		
Questão aberta (A):		
1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece os elementos e o fenômeno apresentado na figura. 2. Explicação do fenômeno: Geraldo explica o fenômeno apresentado à partir da interação mútua entre os blocos no momento da colisão. 3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real a um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno associa a interação entre os blocos e mola com o teorema-em-ato “lei da ação e reação” ao afirmar que um atuará sobre o outro, com a intermediação da mola.		
Comentário:		
✓ Geraldo vale-se do teorema-em-ato “lei da ação e reação” sem controle produtivo aparente.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Qual papel da mola?	“A mola retorna alguma força elástica, eu acho né...”	- A força associada à mola é do tipo ‘restauradora’ (teorema-em-ato). - Energia potencial elástica (conceito-em-ato).
A velocidade dos blocos antes, durante e após a colisão.		
Tradução matemática.	“Tem a força elástica né, kx ... A força é igual a massa vezes a aceleração, só que aí essa força vai usar a força da mola”	- $\vec{F} = -k\Delta\vec{x}$ (conceito-em-ato).

Comentário:		
✓ Geraldo mobiliza alguns conceitos relacionados à situação, de maneira pertinente. Contudo, o aluno parece não possuir controle sobre os conceitos envolvidos, sejam no aspecto do real ou conceito.		
Situação 6: Dissipação da energia mecânica em forma de calor		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece os elementos presentes e o fenômeno apresentado na figura.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: Geraldo limita-se a afirmar que o bloco de gelo sobre a superfície lisa começará a se movimentar.</p>		
Comentário:		
✓ Geraldo vale-se apenas de elementos do real para explicar o fenômeno apresentado.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
A velocidade inicial de cada bloco após o fio ser rompido.	<p>S: “O gelo que tá na superfície lisa vai começar a se movimentar, ganhar velocidade; e a que tá na superfície rugosa, vai ter o atrito, tipo prendendo ele, então só...você vai anular a velocidade da superfície lisa.”</p> <p>P: “Então, quer dizer, no exato instante em que o fio vai se romper você diz que as velocidades são diferentes?”</p> <p>S: “Isso!”</p> <p>P: “As velocidades de partida?”</p> <p>S: “Isso!”</p>	<p>- Atrito (conceito-em-ato). - A energia mecânica inicial será convertida, parcialmente, em energia mecânica final e calor (atrito) (teorema-em-ato). - $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ (teorema-em-ato).</p>
Distâncias percorridas.	“A distância do que tá na superfície lisa vai ser maior do que a que tá na superfície rugosa.”	
Massa do bloco no atrito.	<p>S: “Eu não sei.”</p> <p>P: “Você acha que a massa vai aumentar, vai diminuir?”</p> <p>P: “Porque?”</p> <p>S: “Ela vai estar parada, eu não sei...Não estou entendendo”.</p>	

	<p>P: “Tá. Aqui tá o fio e a gente cortou. Essa [gelo na superfície rugosa] vai pra cá e essa vai pra lá [gelo na superfície lisa]. Aí ela sai daqui desse tamanho (gelo na superfície rugosa), essa massa aqui, aí ela vai pela superfície rugosa e parou lá na frente. O que você pode dizer da massa quando entrar em repouso?”</p> <p>S: “Vai derreter, sei lá”!</p> <p>P: “Por que?”</p> <p>S: “Por causa do atrito né. Por que na superfície rugosa o atrito vai começar a derreter o gelo.”</p>	
Tradução matemática.	“De novo a força de atrito e a gravitacional.”	- $F_{\text{atrito}} = \mu P$, onde $P = N$ (teorema-em-ato).
Comentário:		
<p>- A mobilização dos conceitos pelo aluno ocorre de forma fragmentada e com pouca articulação. No entanto, o que se percebe, é que, no conjunto das respostas, há invariantes do tipo proposicional (teoremas-em-ato), ou seja, ele manifesta as funções do tipo proposicionais (conceitos-em-ato) com grande apelo ao real e, através da mediação, manifesta, ainda que sem explicitação consciente, teoremas-em-ato como, por exemplo, “$E_{\text{mec}}^{\text{inicial}} = W_{\text{atrito}} + E_{\text{mec}}^{\text{final}}$”.</p>		
Situação 7: Relógio de Pêndulo		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece o relógio de pêndulo apresentado na foto.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno limita-se, simplesmente, a afirmar que o relógio irá funcionar.</p>		
Comentário:		
✓ O aluno não utiliza invariantes operatórios para a explicação do fenômeno.		

Questão mediada (M):		
Questão.	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Causa/manutenção do movimento.	“Acho que depende do horário. O movimento é de cada minuto não é? Quando dá o horário certo ele para”	
Posição de máxima velocidade do pêndulo.	<p>S: “Máxima é quando ele está a 90°”. P: “Onde que a velocidade é mínima?”. S: “Quando ele estiver em linha reta, parada (indica com as mãos a posição vertical)”.</p>
Forças que atuam no pêndulo no movimento descendente e ascendente num mesmo ponto.
Vetor $\vec{d\vec{s}}$ num mesmo ponto com o corpo no movimento descendente e no movimento ascendente.		
Tradução matemática do fenômeno.	“Centrípeta, Torricelli, a tração, força peso”.	- $F_{resultante} = m.a$ (teorema-em-ato).
Comentários:		
<p>✓ O aluno apenas mobiliza invariantes operatórios, durante a mediação, relacionados à dinâmica newtoniana.</p> <p>✓ Geraldo inverte a posição de maior velocidade do pêndulo com aquela em que a velocidade é nula.</p>		

Situação 8: Queda livre		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: Geraldo reconhece o fenômeno apresentado na figura.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno explica o fenômeno, a partir do real, ao associar o termo ‘força’ aplicado pelo menino para a bolinha subir e afirma que ela descera com a mesma força.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno mobiliza o termo ‘força’ como ‘impulso’ (conceito-em-ato) e explica que “na ausência de forças dissipativas, a velocidade de um corpo, num mesmo ponto, durante o movimento ascendente e descendente é a mesma” (teorema-em-ato).</p>		
Comentário:		
<p>✓ Geraldo mobiliza o conceito-em-ato ‘impulso’ de maneira inconsciente, através do termo ‘força’, num sentido próximo daquele que poderia ser categorizado como movimento e força, nas pesquisas de concepções espontâneas⁴⁵.</p> <p>✓ O aluno mobiliza o conceito ‘lei da ação e reação’ sem nenhum controle aparente e totalmente descontextualizado.</p>		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Causa do movimento.	“O instante é a partir do momento que o menino aplica uma força não é?”	- Impulso (conceito-em-ato).
Evolução da velocidade e da altura do corpo.	<p>P: “É assim, ele jogou a bolinha, o que vai acontecer com a altura?”</p> <p>S: “Aumentou.”</p> <p>P: “E com a velocidade?”</p> <p>S: “Permanecer a mesma.”</p>	
Tradução matemática.	<p>S: ... (não audível)</p> <p>P: “Se quiser usar Torricelli, pode?”</p> <p>S: “Torricelli? Calma aí...”</p> <p>P: “Qual que é Torricelli?”</p> <p>S: “É porque é movimento vertical né?”</p> <p>P: Movimento vertical!”</p> <p>S: “Ah, então não vai dar</p>	

⁴⁵ Embora aqui se trate do uso do termo para a ideia de impulso e não energia, como mencionado no subitem 1.5.1.

	tempo...Torricelli tem v igual v zero menos t ... mais t...s igual s zero mais..."	
Simetria no movimento (totalmente mediado através do auxílio do pesquisador).	<p>P: "Marca aqui: v quadrado, v zero ao quadrado, mais 2 a delta esse."</p> $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S$ <p>P: "...Faça um traço assim..."</p> <p>P: "Nesse traço vou pedir pra você, por favor, marcar duas bolinhas em posições diferentes. Cada bolinha é a esfera em posições diferentes. Aí a gente aqui, por exemplo, aqui de A e aqui de B, ou o contrário, 1 e 2. A bolinha tá subindo, a aceleração da gravidade é pra baixo."</p> <p>...</p> <p>P: "Qual é a posição final?"</p> <p>S: "A."</p> <p>...</p> <p>P: "Isso...isso...Aqui vai ficar menos dois, tá subindo! 2, menos 2, por que tá subindo. Ao invés de S, coloca delta H. Só que, olha que coisa, esse delta H indica que está variando a altura. Então delta H vai ser Ha menos Hb né?"</p> <p>...</p> <p>P: "Vou pedir pra você repetir o de baixo e colocar Ha menos Hb."</p> $v_A^2 = v_B^2 - 2g(H_A - H_B)$ <p>P: "Vou pedir pra você fazer a propriedade distributiva. Escreve embaixo, mas agora distribui..."</p> $v_A^2 = v_B^2 - 2gH_A + 2gH_B$ <p>P: "Tudo que tem a colocar no primeiro membro e tudo que tem b do outro lado."</p>

	Após longa mediação...	
	Dividindo tudo por 2 e multiplicando por 'm'...
	<p> S: “Ah é a de conservação né?” P: “conservação do que?” S: “Das massas!” P: “Das massas?” S: “Não, conservação da energia! energia mecânica! energia cinética...” </p>	
Comentários:		
<p>✓ Geraldo apresenta muitas dificuldades na tomada de consciência dos invariantes operatórios a serem mobilizados para a situação dada. Contudo, através de um longo processo de mediação, mobiliza-os de maneira tímida, demonstrando insegurança a cada passo.</p> <p>✓ O aluno reconhece, após longo processo de mediação, a ‘formulinha’ da conservação da energia mecânica sem, no entanto, fazer nenhum tipo de menção da simetria.</p>		

3.2.1.2.1 Invariantes operatórios utilizados no conjunto das situações apresentadas

1. Invariantes operatórios do tipo [R-R]:

Invariantes Operatórios [R-R]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“Um corpo solto, de determinada altura, numa trajetória fechada atingirá a mesma altura da qual foi solto”	U							

“A força associada à mola é do tipo ‘restauradora’”					U			
“Na ausência de forças dissipativas, a velocidade de um corpo, num mesmo ponto, durante o movimento ascendente e descendente é a mesma”.								U

Tabela 18 - I.O. do tipo [R-R] de Geraldo.

2. Invariantes operatórios [R-C]:

Invariantes Operatórios [R-C]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada”.	U	U						
“Energia potencial gravitacional é proporcional à altura”	U							
“ $F_{resultante} = m.a$ ”	U		U				U	
“ $F_{atrito} = \mu P$ ”						U		

Tabela 19 - I.O. do tipo [R-C] de Geraldo.

3. Invariantes operatórios interpretativos [C-C]:

Invariantes Operatórios [C-C]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“A energia mecânica inicial será convertida, parcialmente, em energia mecânica final e calor (atrito)”						U		
“ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ”						U		

Tabela 20 - I.O. do tipo [C-C] de Geraldo.

3.2.1.2.2 Conceitos não mobilizados

- As respostas às situações não nos permitem inferir sobre os conceitos de trabalho (ou ‘pseudo-trabalho’), potência e, muito pouco, sobre energia ou seu princípio de conservação.
- As inferências das respostas para o conjunto de situações sugerem que o aluno possui, em sua estrutura cognitiva, poucos elementos relacionados ao conceito de energia e seu princípio de conservação.
- O aluno mobilizou os invariantes, mas ocorre de forma frágil e fragmentada, recorrendo, excessivamente, ao real observado para explicar a situação, em vez de recorrer aos conceitos pertinentes.
- A mobilização e articulação conceitual melhoram um pouco durante a mediação do pesquisador. Ainda assim, o aluno argumentava de forma frágil e com dificuldades na mobilização conceitual.

3.2.1.2.3 Organização das condutas

a. Combinação de invariantes operatórios de maneira explícita

- O aluno demonstrou muita dificuldade, partindo do real, de mobilizar os possíveis invariantes para cada situação, sejam eles, explícitas ou implícitas.

- O único invariante mobilizado, de maneira explícita, pelo sujeito foi “ $F_{resultante} = m.a$ ” (teorema-em-ato), durante a situação 3.

b. Combinação de invariantes operatórios de maneira implícita

- O aluno não mobiliza nenhuma modalidade de energia, mas, na situação 1, ao associar que a altura máxima de lançamento deve ser igual à altura máxima do *looping*, o teorema-em-ato “energia potencial é proporcional à altura” torna-se implícito.
- Por outro lado, o aluno recorre, com alguma frequência, às leis da dinâmica para justificar possíveis respostas.
- O conjunto de situações com atrito nos permite inferir que o aluno reconhece o caráter resistivo da força de atrito sem, no entanto, demonstrar controle produtivo.
- Na situação 6, o aluno utiliza, de maneira implícita, o teorema-em-ato “a energia mecânica inicial será convertida, parcialmente, em energia mecânica final e calor (atrito)” ao considerar que o gelo irá derreter na superfície rugosa.

3.2.1.2.4 Controle sobre aspectos do real

a. Com controle produtivo

- O aluno mobiliza seu raciocínio, de maneira produtiva, relacionando apenas aspectos do real. Assim, no teorema-em-ato “um corpo solto, de determinada altura, numa trajetória fechada, atingirá a mesma altura da qual foi solto” (inferência) parece mobilizado com controle da situação pelo aluno.

b. Sem controle produtivo

- Em todas as situações apresentadas, o aluno demonstra pouca habilidade na mobilização e articulação dos invariantes pertinentes a cada uma delas. Nas vezes que conseguiu realizar alguma mobilização e/ou articulação dos invariantes, recorreu a elementos do real e, em nenhum momento, utilizou conceitos como objeto de pensamento.

- A maioria dos invariantes operatórios mobilizados pelo sujeito ocorre sem controle produtivo dos conhecimentos, como destacamos abaixo.
- O uso do teorema-em-ato “ $F_{resultante} = m.a$ ” pelo sujeito ocorre de maneira contingente, ou seja, sem controle aparente.
- O teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada” é utilizado, de maneira implícita, mas sem nenhum controle por parte do sujeito durante a situação 2.
- O conceito-em-ato “atrito” é utilizado de maneira genérica e sem controle durante as situações.
- O aluno mobiliza o teorema-em-ato “a energia cinética é proporcional a velocidade” de maneira genérica e sem controle aparente durante a mediação da situação 4.
- O aluno mobiliza, de maneira implícita, o conceito-em-ato “lei da ação e reação” sem nenhum controle aparente.

3.2.1.3 O Caso Carolina

Nível de instrução: 6º semestre (licenciatura)
Idade: 42 anos
Respostas para as questões de acordo com as situações propostas
Situação 1: <i>Looping</i>
Questão aberta (A):
<p>1. Tomada de informação sobre o real: Carolina reconhece o <i>looping</i> na foto.</p> <p>2. Identificação do fenômeno: ela invoca a conversão de energia potencial gravitacional em cinética e novamente em potencial, a possibilidade do atrito e dissipação de energia. A aluna menciona “atrito” (conceito-em-ato) e a possibilidade da perda de energia.</p> <p>3. Associação de um elemento do real à um invariante operatório: ela aplica o seguinte teorema-em-ato “num sistema isolado, a energia total é conservada” fazendo referência às conversões de energia mecânica da situação. Também é possível inferir, a partir da resposta aberta, que “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva” (teorema-</p>

em-ato), que “energia potencial é proporcional à altura” (teorema-em-ato), “energia cinética é proporcional à velocidade” (teorema-em-ato), “a energia mecânica inicial será convertida, parcialmente, em energia mecânica final e calor (atrito)” (teorema-em-ato) e “ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ” (teorema-em-ato).		
Comentários:		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Este sujeito associa de maneira pertinente, mas implícita e genérica, a realidade usando o teorema-em-ato “a energia total de um sistema isolado se conserva” para afirmar a possibilidade do movimento do corpo no <i>looping</i>. ✓ O raciocínio de Carolina está muito próximo do fenômeno observado. Ela não utiliza nenhuma explicação microscópica para dissipação de energia. 		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Explique em quais condições o carrinho pode atingir a altura máxima.	“Você vai ter que ter a mesma altura aqui né, se você não tiver perda.”	- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva (teorema-em-ato).
Comentário:		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ O teorema-em-ato “na ausência de forças consideradas dissipativas a energia mecânica total de um sistema se conserva” parece estabilizado. Ainda que na explicação mediada ela não tenha recorrido explicitamente ao teorema, podemos inferir, através de suas justificativas, esta estabilidade. ✓ A aluna não recorreu à operacionalização matemática para estimar a altura mínima no qual o corpo deveria ser lançado. 		
Situação 2: Colchão de ar		
Questão aberta (A):		
<ol style="list-style-type: none"> Tomada de informação sobre o real: Carolina reconhece o colchão de ar apresentado na foto. Associação de um elemento do real a um invariante operatório: ela não relaciona de modo pertinente o funcionamento do colchão de ar utilizando 		

invariantes operatórios. Carolina utiliza o conceito-em-ato 'força'.		
3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): A aluna manifesta suas explicações no nível do real utilizando o conceito-em-ato "impulso" para justificar o início do movimento do disco no jogo.		
Comentário:		
✓ A aluna utiliza o termo 'força' no sentido de 'impulso' para se referir à ação de intensidade da força aplicada pelo jogador. ✓ Ela menciona as direções de aplicação desta força.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Função do colchão de ar.	"É para diminuir o atrito..."	- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva (teorema-em-ato).
Causa do movimento inicial.	"Tem que dar uma batida nele, tem que ter uma força externa senão ele fica parado".	- Impulso (conceito-em-ato).
Colisão do disco nas laterais da mesa.	"É uma força de ação e reação né, a força que ele bateu lá (aponta para as laterais da mesa) ele vai retornar".	- As forças atuam aos pares (conceito-em-ato). - Lei da ação e reação (conceito-em-ato).
Comentários:		
✓ A aluna utiliza de modo pertinente o teorema-em-ato "na ausência de forças dissipativas a energia mecânica (cinética) é conservada". ✓ Assim como sugerido na primeira situação, a conservação da energia mecânica na ausência de forças externas parece estabilizado para a aluna.		
Situação 3: Plano inclinado		
Questão aberta (A):		
1. Tomada de informação sobre o real: A aluna reconhece as figuras abstratas apresentadas. 2. Explicação do fenômeno: Carolina faz inferências sobre o movimento do bloco de acordo com a inclinação dos planos sem mencionar aspectos da		

energia mecânica.

3. **Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s):** Carolina associa o movimento dos blocos à inclinação dos planos e ao atrito. No plano cuja base é 'l' ela associa a inclinação e atrito utilizando o teorema-em-ato "a força de atrito não é homogênea em toda superfície de contato" (inferência) e com o conceito-em-ato 'torque'. O bloco sobre o plano cuja base é 'L' pararia devido ao seguinte teorema-em-ato: "na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada" (inferência).

Comentário:

- ✓ Carolina parece se fixar em conceitos relacionados ao real imediato, tais como forças aplicadas. A aluna se vale de diagramas de forças e esquemas (tal como a componente p_y relacionada à força normal e ao produto da força peso e o seno do ângulo de inclinação do plano) de forma automatizada.
- ✓ Ela não considera o sistema bloco-plano-superfície constituindo um sistema fechado. Os invariantes utilizados são da mecânica newtoniana. Explicitamente ela também não recorre à dissipação de energia mecânica, embora utilize, implicitamente, o teorema-em-ato "na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada" ao afirmar que os corpos poderiam parar já que as superfícies são ásperas.

Questão mediada (M):

Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Variação da velocidade.	"Então, a tendência é dessa (figura da direita) ser menor que essa (figura da esquerda) né".	
Tempo de descida.	"O da primeira figura (esquerda), esse aqui (esquerda) é um movimento louco."	
Tradução matemática.	"Na verdade eu vou construir essa expressão né, eu vou colocar todas as forças aí, e eu vou chegar numa expressão pra	- $F_{resultante} = m.a$ (teorema-em-ato) ⁴⁶ .

⁴⁶ Em alguns casos houve dúvidas se se tratava de um teorema-em-ato ou Conceito-em-ato; minhas considerações se apoiaram na forma como os invariantes foram mobilizados pelos sujeitos.

	<p>situação na horizontal e na vertical né...”.</p>
Comentários:		
<p>✓ A aluna não mobiliza explicitamente, em nenhum momento, os conceitos de energia mecânica, nem de sua conservação para inferir acerca da relação entre a altura inicial e a possível velocidade do bloco ao atingir o plano inclinado.</p> <p>✓ Assim como observado na situação 2, Carolina busca, através das disposições das forças presentes e no diagrama de forças, explicar o fenômeno por meio da possível aplicação das leis de Newton.</p>		
Situação 4: Colisão inelástica		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: Carolina reconhece de modo pertinente a figura apresentada.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: Ela explica de modo pertinente a situação, utilizando conceitos relacionados ao fenômeno.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): A aluna associa a colisão entre os dois veículos com a ‘perda’ da energia cinética (conceito-em-ato) inicial remetendo ao teorema-em-ato “numa colisão inelástica a energia cinética é totalmente dissipada”. Ela ainda justifica a ‘conversão’ desta energia cinética inicial em outras modalidades, tais como calor e som.</p>		
Comentário:		
<p>✓ A aluna mobiliza o conceito de energia cinética para justificar a colisão. Ela associa a velocidade dos veículos antes e após a colisão com o teorema-em-ato “numa colisão inelástica a energia cinética é totalmente dissipada” em calor e deformação.</p> <p>✓ O conceito de conservação da Quantidade de Movimento não é mobilizado.</p>		

Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Velocidade dos veículos.	<p>S: “Esse é o tipo de conceito ainda não me é claro, na utilização da quantidade de movimento e da energia.”</p> <p>P: “Perfeito. Mas o que você pode me dizer, sobre a velocidade antes e depois da batida?”</p> <p>S: “Então... se eu tenho um $E = mv^2/2$ inicial, a velocidade final é zero. Então a energia... Aí é que tá não consigo responder.”</p> <p>P: “Não, sem usar a conta.”</p> <p>S: “Vem com uma certa velocidade, quer dizer, é um corpo, que parte... e que tem uma velocidade... e nesse momento (da batida) ele não tem mais, a velocidade é zero.”</p>	- Numa colisão inelástica a energia cinética é totalmente dissipada (teorema-em-ato).
Deformação.		
Tradução matemática		
Comentários:		
<p>✓ O teorema-em-ato “numa colisão inelástica a energia cinética é totalmente dissipada” parece estabilizado para a aluna. É interessante perceber que a própria aluna faz referência às suas dúvidas/inseguranças nas explicações em situação.</p> <p>✓ A aluna não mobiliza a ideia de conservação de Quantidade de Movimento.</p>		
Situação 5: Colisão elástica		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: A aluna reconhece os elementos presentes na figura apresentada.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: Ela explica o fenômeno utilizando somente aspectos do real na aproximação, colisão e afastamento dos blocos, assim como compressão e distensão da mola. Neste momento da explicação espontânea a aluna não relacionou nenhum invariante operatório relevante ao</p>		

fenômeno.		
3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): A aluna recorre a gestos para se referir ao afastamento dos blocos após a colisão num sentido que sugere que “numa colisão elástica, a energia cinética é conservada” (teorema-em-ato).		
Comentário:		
✓ Carolina se limita a explicar o fenômeno utilizando apenas aspectos do real inferindo, por meio de gestos os invariantes operatórios associados à situação.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Qual papel da mola?	“Ela primeiro vai frear o movimento, depois ela vai fazer com que esse movimento seja (faz gesto do movimento de afastamento com as mãos).”	- $F = -k\Delta x$ (conceito-em-ato).
A velocidade dos blocos antes, durante e após a colisão.	“E voltam... eu tendo a pensar que ele voltem, não com a mesma velocidade, mas com uma velocidade maior do que chegaram por conta da mola.”	- A mola atua como agente motor (teorema-em-ato).
Tradução matemática.	“...você vai usar quantidade de movimento [...] energia cinética [...], você vai ter que levar em conta também a energia da mola né.”	- $\Delta \vec{Q}_{sistema} = \vec{0}$ (teorema-em-ato). - Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva (teorema-em-ato).
Comentários:		
✓ Carolina não utiliza teoremas-em-ato de forma pertinente em nenhum momento, contudo utiliza dois conceitos-em-ato ao explicar o papel da mola: ‘força restauradora’ e ‘energia potencial elástica’. ✓ As explicações da aluna se restringem aos aspectos do real, argumentando sobre a deformação da mola, a inversão dos sentidos dos movimentos após a colisão, com dificuldade. ✓ Para a aluna, a mola, no momento de seu alongamento, atuaria como agente motora ao incrementar a velocidade dos blocos, além de exercer força restauradora, num sentido muito próximo àqueles mencionados por Barbosa e		

Borges (2006, p. 193-195).		
✓ A conservação da energia mecânica envolvendo energia potencial elástica não parece estabilizado para a aluna. ✓ A aluna não utiliza a conservação da Quantidade de Movimento.		
Situação 6: Dissipação da energia mecânica em forma de calor		
Questão aberta (A):		
1. Tomada de informação sobre o real: A aluna reconhece os elementos presentes na figura. 2. Explicação do fenômeno: Para Carolina, o bloco na superfície lisa tende a correr mais se não houver regelo mantendo-os fixos.		
Comentários:		
✓ Carolina se vale apenas de aspectos do real para explicar a situação apresentada. ✓ Carolina não mobiliza invariantes operatórios relevantes para a explicação do fenômeno.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
A velocidade inicial de cada bloco após o fio ser rompido.	“Eu acho que a tendência desse bloco (superfície lisa) é sair primeiro do lugar e com velocidade maior do que esse (superfície rugosa).”	
Distâncias percorridas.	“...eu só consigo falar que é maior, que essa (a da superfície lisa) é maior a distância né.”	
Massa do bloco no atrito.	“...ele deve ser menor, pouca coisa menor. Não sei, tá perdendo massa...”	
Tradução matemática.	“...eu vou ter que chegar nela também dependendo da sua pergunta né, usando o peso do bloco, essa superfície deve ter um atrito, eu não sei se tem uma pronta, eu vou ter que fazer toda a construção dela aqui pelas forças.”	- $F_{resultante} = m.a$ (teorema-em-ato).

Comentários:		
✓ As explicações explicitadas pela aluna se fixam entre aspectos do real e entre aspectos das aplicações das leis de Newton. Contudo inferimos a presença de teoremas-em-ato presente implicitamente em suas explicações. ✓ A aluna não se vale da conservação da Quantidade de Movimento.		
Situação 7: Relógio de Pêndulo		
Questão aberta (A):		
1. Tomada de informação sobre o real: a aluna reconhece o relógio de pêndulo apresentado na foto. 2. Explicação do fenômeno: a aluna se limita a explicar o funcionamento mecânico externo do relógio somente mobilizando aspectos do real.		
Comentário:		
✓ A aluna não utiliza invariantes operatórios para a explicação do fenômeno.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Causa/manutenção do movimento.	“Ele tem uma serie de roldanas, uma roldana maior, uma menor, a maior você dá corda nele e ela vai girando e faz com que ele...” ... “...ele deixa de funcionar quando..., essas coisas que você puxa aqui (indica as cordas na parte inferior do relógio) né, de um lado pro outro diminui, essa é a cordinha que vai levando a engrenagem a funcionar...”	
Posição de máxima velocidade do pêndulo.		- $\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$ (teorema-em-ato).

Forças que atuam no pêndulo no movimento descendente e ascendente num mesmo ponto.
Vetor $d\vec{s}$ num mesmo ponto com o corpo no movimento descendente e no movimento ascendente.
Tradução matemática do fenômeno.	- Equação do pêndulo.	

Comentários:

- ✓ Durante a mediação, Carolina mobiliza invariantes operatórios relacionados à mecânica newtoniana, tais como, diagrama de forças.
- ✓ A aluna apresenta dificuldades em mobilizar invariantes operatórios relacionados à energia mecânica. A maioria de suas explicações são limitadas à tomada de informações sobre o real presente na situação.
- ✓ A aluna não menciona o papel do trabalho durante suas explicações, assim como não menciona nada sobre o sistema que está considerando nas explicações.

Situação 8: Queda livre

Questão aberta (A):

- 1. Tomada de informação sobre o real:** Carolina identifica a figura como lançamento vertical ascendente e explica a relação entre a velocidade/altura na subida do corpo, no ponto mais alto e na descida.
- 2. Explicação do fenômeno:** Para a aluna, a velocidade da bola será zero no

ponto de altura máxima e terá energia potencial gravitacional máxima. No retorno à mão do menino a velocidade será igual àquela no momento do lançamento. Carolina explica, de modo pertinente, o movimento ascendente com valores crescentes para a altura e decrescentes para a velocidade até o ponto de máxima altura, indicada por ela como tendo velocidade igual a zero, quando começa a descer, no que há aumento da velocidade e diminuição da altura.

- 3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s):** Carolina utiliza os conceitos-em-ato 'altura' e 'velocidade' como sendo grandezas inversamente proporcionais e o teorema-em-ato "a energia potencial é proporcional à altura do corpo". Também inferimos o seguinte teorema-em-ato: "na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva".

Comentários:

- ✓ A aluna associa de modo pertinente a 'conversão' da energia cinética à potencial gravitacional e vice-versa para o movimento vertical do corpo. Além disso, ela relaciona de modo pertinente o conceito-em-ato 'altura' como sendo diretamente proporcional à energia potencial gravitacional.
- ✓ Em nenhum momento a aluna menciona o fator v^2 como sendo inversamente proporcional à altura.

Questão mediada (M):

Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Causa do movimento	"É a força do menino...".	- Impulso (conceito-em-ato)
Evolução da velocidade e da altura do corpo.	"...o momento em que ela perde velocidade, em que a velocidade chega a zero é a altura máxima, e depois ela retorna ao ponto de origem, com velocidade igual a inicial...".	- Velocidade e altura são inversamente proporcionais no movimento vertical (teorema-em-ato).
	"Então velocidade inicial é a velocidade com que o movimento se iniciou, vai depender da força que o menino colocou aí pra jogar essa bolinha e da massa dela...".	- $l \propto m$ (conceito-em-ato).

Tradução matemática.	<p>“...a V fica quadrada, [...]”.</p> <p>$v^2 = v_0^2 + 2gh$</p> <p>$\Sigma F = m \cdot a$</p>	<p>$v_y = v_{oy} \pm g \cdot t.$</p> <p>$\frac{d^2 y}{dt^2} = k .$</p>
Simetria no movimento (totalmente mediado através do auxílio do pesquisador).	1) Eq. Torricelli:	
	$v^2 = v_0^2 - 2gh$	
	2) Reescrevendo:	
	$v_2^2 = v_1^2 - 2g(y_2 - y_1)$	
	3) Distribuindo:	
$v_2^2 = v_1^2 - 2gy_2 + 2gy_1$		
4) Rearticulando:		
$v_2^2 + 2gy_2 = v_1^2 + 2gy_1$		
5) Dividindo por 2 e multiplicando por m:		
$m \left(\frac{v_2^2}{2} + gy_2 \right) = \left(\frac{v_1^2}{2} + gy_1 \right) m$		
Comentários:		
<p>✓ Carolina se vale de conceitos que partem do real imediato para justificar suas afirmações, tal como impulso para justificar a causa do movimento inicial. Isso também pode ser percebido quando a aluna lembra da equação horária do movimento como tradução matemática do fenômeno e ao escrever o diagrama de forças que atuam no movimento vertical (força peso e ‘força’ aplicada/atuando no corpo no instante do lançamento).</p> <p>✓ Carolina apresenta dificuldades no momento da utilização da linguagem matemática para uma possível explicação do fenômeno.</p> <p>✓ Carolina percebe a simetria construída matematicamente a partir da equação de Torricelli, assim como percebe que a substituição de índices não altera a</p>		

simetria. Contudo, somente no último passo (na multiplicação por m) é que percebe que também se trata da conservação da energia mecânica e que, portanto, poderia ter iniciado sua explicação a partir da conservação e não a partir da equação horária.

3.2.1.3.1 Invariantes operatórios utilizados no conjunto das situações apresentadas

1. Os invariantes operatórios do tipo [R-R]:

Invariantes Operatórios [R-R]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“As forças atuam aos pares”.		⊖						
“A mola atua como agente motor”.					⊖			
“Velocidade e altura são inversamente proporcionais no movimento vertical”								⊖

Tabela 21 - I.O. do tipo [R-R] de Carolina.

2. Invariantes operatórios [R-C]:

Invariantes Operatórios [R-C]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva”.	⊖	⊖	⊖		⊖			⊖
“Energia potencial gravitacional é proporcional à altura”.	⊖							⊖

“Energia cinética é proporcional à velocidade”.	U							
“A força de atrito não é homogênea em toda superfície de contato”.			U					
“ $F_{resultante} = m.a$ ”.			U			U		
“Numa colisão inelástica a energia cinética é totalmente dissipada”.				U, I				
“Numa colisão elástica, a energia cinética é conservada”.					U			
“ $\Delta \vec{Q}_{sistema} = \vec{0}$ ”.					U			

Tabela 22 - I.O. do tipo [R-C] de Carolina.

3. Invariantes operatórios interpretativos [C-C]:

Invariantes Operatórios [C-C]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“Num sistema isolado, a energia total é conservada”.	U							
“A energia mecânica inicial será convertida, parcialmente, em energia mecânica final e calor (atrito)”.	U							
“ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ”.	U							

$\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$.								U	
--------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	---	--

Tabela 23 - I.O. do tipo [C-C] de Carolina.

3.2.1.3.2 Conceitos não mobilizados

- Carolina não mobiliza, em nenhum momento, e em nenhuma situação, o conceito de trabalho e/ou potência. Nossa leitura também não nos permitiu realizar nenhuma inferência neste sentido. Pareceu-nos que a aluna simplesmente ‘desconhece’ tais conceitos ainda que sejam ensinados em vários níveis da instrução formal e, mais especificamente, na graduação em física.

- Carolina apresenta limitações na mobilização de conceitos relacionados à conservação e Dissipação da energia mecânica de maneira explícita. Num outro sentido, sua busca por explicações ou em aspectos do real ou na mecânica newtoniana é recorrente nas várias situações.

3.2.1.3.3 Organização das condutas

a. Combinação de invariantes operatórios de maneira explícita

- Quase todas as respostas mobilizadas pelo sujeito são genéricas, o que, a nosso ver, indica ausência de pleno domínio dos conceitos pertinentes para as oito situações propostas. Destaca-se, contudo, a explicação para a situação 4, tratando da colisão inelástica, na qual a aluna afirma que naquele tipo de colisão toda energia cinética seria ‘convertida’ em outras formas, tais como calor, som e deformação.

b. Combinação de invariantes operatórios de maneira implícita

- De acordo com nossas inferências, a aluna reconhece nas situações 1, 2, 3, 5, 7 e 8 a conservação da energia mecânica, sua Dissipação e a conservação da energia total num sistema relacionando invariantes do tipo interpretativos. A essas seis situações podemos acrescentar a situação 4 quando ela manifesta que “numa colisão inelástica a energia cinética é totalmente dissipada”; contudo, para essa situação a aluna toma como referente um real e não um conceito e, portanto, os invariantes, aqui mobilizados, seriam real-conceito.

Interpretamos, assim, que a aluna, ao mobilizar implicitamente os conceitos pertinentes nessas seis situações citadas o faz de forma inconsciente.

- Para o conjunto de situações propostas também detectamos outros invariantes que não eram objeto de nosso estudo inicial, mas que no decorrer da análise nos chamaram atenção. Destacamos a recorrente mobilização da mecânica newtoniana realizada pelo sujeito em várias oportunidades.

- Na última situação proposta demonstramos, através da mediação, a simetria presente durante o movimento vertical. Embora a aluna tenha reconhecido o “surgimento” dos signos presentes na conservação da energia mecânica, ela [aluna], em nenhum momento, estabeleceu relações entre a simetria e a conservação, parecendo conformar-se muito mais com a “mágica operacional” apresentada do que com o real significado físico daquilo que foi apresentado. Um esforço parecido poderia ter sido realizado para, por “mágica operacional”, apresentarmos os conceitos de potência e trabalho. Essa ausência do entendimento dos significados dos conceitos racionais é justificada através da recorrente busca, por parte da aluna, dos conceitos da mecânica newtoniana e aspectos do real.

3.2.1.3.4 Controle sobre os aspectos do real

a. Com controle produtivo

- Os invariantes operatórios mobilizados pela aluna, durante o momento aberto (ou espontâneo) são genéricos, embora, em parte deles, a aluna demonstrasse ter controle produtivo.

- Para a situação 3, a aluna recorreu à conhecimentos de eletromagnetismo que ocorrem durante o atrito para justificar sua argumentação. Contudo, não associou atrito com calor, nem com conservação de energia.

- Para a situação 4, a aluna reconhece, no momento espontâneo, de forma implícita, as transformações de energia que ocorrem numa Colisão Inelástica, tais como calor, deformação etc com controle produtivo. Contudo, em nenhum momento, a aluna parece ter consciência de seu conhecimento-em-ato.

- Na situação 5 a aluna demonstrou dificuldades na mobilização dos invariantes associados à situação proposta, porém é possível perceber através de seus gestos o controle que possui sobre invariantes de conservação da energia mecânica.
- Na situação 7 percebemos que a aluna possui, implicitamente, o conhecimento do teorema-em-ação “ $\int \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$ ” (teorema ‘trabalho-energia’).
- Para a situação 8 a aluna demonstra controle produtivo para o teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada”.
- Nas duas situações com mola a aluna demonstrou falta de domínio conceitual no que se refere à conservação da energia ou ‘armazenamento’ da energia elástica na/pela mola. Percebemos que na colisão elástica ela argumenta que as velocidades dos corpos após a colisão serão maiores devido à ‘energia extra’ que receberão da mola. Os demais dados demonstram, no entanto, que Carolina possui o teorema-em-ato “num sistema isolado a energia mecânica é conservada”, diferentemente do que se percebe quando ela menciona que a velocidade dos blocos após a colisão é maior indica. Nossa hipótese é de que ela não toma consciência do princípio de conservação por estar preocupada com outras ‘variáveis’ colocadas na situação e, principalmente, pelo elemento ‘mola’.
- Um olhar mais atento à inferência realizada com respeito à conservação e dissipação da energia mecânica, nessas situações, sugere domínio, por parte da aluna, do teorema da conservação e dissipação da energia mecânica, ainda que apresente limitações estabelecidas com conceitos afins.

b. Sem controle produtivo

- Na situação 2, durante o momento mediado, Carolina recorre aos conceitos-em-ato “lei da ação e reação” para explicar o que ocorre durante a colisão do disco nas laterais da mesa, de maneira explícita, porém sem controle aparente.
- Nas situações 3 e 6, Carolina recorre ao diagrama de forças “ $F_{resultante} = m \cdot a$ ” para traduzir matematicamente as situações sem, contudo, demonstrar nenhum controle produtivo para isso. Ao que nos parece, ela recorre ao

diagrama por ser um conceito validado em situações anteriores de seu repertório.

- Na situação 4, ao tratar de colisões inelásticas, a aluna parece não ter controle produtivo no que se refere aos invariantes de conservação da energia mecânica. A aluna recorre à aspectos do real, sem operar no nível do conceito.
- O conceito-em-ato " $I \propto m$ " é mobilizado, implicitamente, sem nenhum controle produtivo.

3.2.1.4 O Caso Luíz Antonio

Respostas para as questões de acordo com as situações propostas
Nível instrução: Concluído (licenciatura)
Idade: 24
Situação 1: <i>Looping</i>
Questão aberta (A):
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece a foto apresentada.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno explica possíveis movimentos para o corpo a ser solto do lado inclinado do <i>looping</i>, dependendo da altura inicial.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno reconhece a possibilidade de o corpo passar ou não pelo ponto mais alto do <i>looping</i>, utilizando o teorema-em-ato "na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva". Para isso, considera haver uma altura mínima de lançamento, que pode ser estimada através da seguinte relação:</p>

Handwritten work showing a diagram of a ball of radius R at height h , a photo of the ball, and energy conservation equations:

$$E_a = mgh = E_b = mg(2R) + \frac{mv^2}{2}$$

$$gh = 2gR + \frac{v^2}{2}$$

$$h = 2R + \frac{v^2}{2g}$$

The final result is boxed: $h = 2R + R = 3R$.

3.1. Outros invariantes mobilizados pelo sujeito: “atrito” (conceito-em-ato), “ $F_{resultante} = m.a$ ” (teorema-em-ato), “ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ” (teorema-em-ato), “a energia total de um sistema fechado é conservada”.

Comentários:

- ✓ Luiz Antonio mobiliza, de maneira pertinente, os principais invariantes operatórios propostos para a questão.
- ✓ O aluno recorreu à operacionalização matemática para justificar suas conclusões.

Questão mediada (M):

Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Explique em quais condições o carrinho pode atingir a altura máxima.	“A condição é que ele seja abandonado dessa altura mínima...”.	- energia potencial é proporcional à altura (teorema-em-ato).

Comentário:

- ✓ O teorema-em-ato “energia potencial é proporcional à altura” parece estabilizado para o sujeito. O conjunto de respostas abertas e mediada permite que realizemos tal inferência.

Situação 2: Colchão de ar		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece a mesa apresentada na foto.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno explica, de maneira coerente o princípio de funcionamento da mesa em dois níveis: no nível do real e no nível dos conceitos.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real a um (ou mais) invariante (s) operatório (s): Luiz Antonio associa, explicitamente, os invariantes do tipo função proposicional (conceito-em-ato) “atrito”, “quantidade de movimento” e “impulso” para explicar o princípio de funcionamento conceitual da mesa com os teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva”, “num sistema isolado, a energia total é conservada”.</p>		
Comentário:		
✓ Luiz Antônio mobiliza, de maneira pertinente, os principais invariantes propostos para a situação apresentada.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Função do colchão de ar.	“...diminuir o atrito do disco com a superfície..”.	- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva (teorema-em-ato).
Causa do movimento inicial.	“...nessa colisão ocorre transferência de quantidade de movimento e o disco entra em movimento...”	- $I = F \cdot \Delta t$ (conceito-em-ato).
Colisão do disco nas laterais da mesa.		
Comentários:		
✓ Luiz Antônio mobiliza, de maneira pertinente, os invariantes operatórios “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva” e o conceito-em-ato “ $I = F \cdot \Delta t$ ” para responder as questões mediadas.		

- ✓ O aluno recorre a invariantes-operatórios associados ao real (jogo) para explicar o que ocorre durante as colisões do disco contra as laterais da mesa.
- ✓ O sujeito não mobiliza nenhum tipo de expressão matemática.

Situação 3: Plano inclinado

Questão aberta (A):

1. **Tomada de informação sobre o real:** O aluno reconhece os elementos presentes na figura.
2. **Explicação do fenômeno:** O aluno explica o fenômeno através do possível movimento em decorrência da inclinação e superfície rugosa.
3. **Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s):** Luiz Antônio mobiliza o conceito-em-ato “atrito” e infere que o movimento do bloco dependerá do coeficiente de atrito entre ele e o plano através do teorema-em-ato “ $F_{resultante} = m.a$ ” (componente da força peso e força de atrito na direção do plano).

Comentário:

- ✓ Luiz Antônio recorre à dinâmica newtoniana para explicar o fenômeno em detrimento das explicações envolvendo o princípio de conservação da energia.

Questão mediada (M):

Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Variação da velocidade.	<p>S: “...entrando em movimento ele realiza um movimento uniformemente acelerado.”</p> <p>P: “Tá! E o outro?” [bloco].</p> <p>S: “...a aceleração desse movimento acelerado (aponta para o primeiro plano inclinado), ou seja, desse com comprimento l minúsculo vai ser maior do que a aceleração do com comprimento L maiúsculo, isso considerando que os dois entram em</p>	<p>- $v = v_o + a.t$.</p> <p>- $s = s_0 + v_0 + \frac{1}{2}at^2$.</p> <p>- $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S$.</p>

	movimento.”	
Tempo de descida.	“...O tempo de descida dos dois blocos como a altura H é a mesma pros dois eles tem o mesmo tempo de descida.”	
Tradução matemática.	“A equação do movimento uniformemente variado...”	
Comentário:		
✓ Luiz Antônio recorre a explicações da dinâmica newtoniana, desconsiderando aspectos do princípio de conservação da energia durante a questão mediada.		
Situação 4: Colisão inelástica		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece o real representado na figura.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: Luiz Antônio explica o fenômeno recorrendo a conceitos e aspectos do real.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno associa o possível movimento inicial com o conceito-em-ato “energia cinética” pelo fato dos dois veículos sugerirem terem velocidades antes da colisão, com a condição final do fenômeno através do seguinte teorema-em-ato “numa colisão inelástica, a energia cinética é dissipada”. Também considera a massa e velocidade dos veículos para sugerir que poderiam ter as mesmas velocidades antes da colisão, com o uso do teorema-em-ato “$\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$”.</p>		
Comentário:		
✓ O aluno mobiliza e articula invariantes operatórios envolvidos na situação. Contudo, nada diz acerca da dissipação da energia em forma de calor etc.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Velocidade dos veículos.	“Se eles colidiram e pararam então eu penso que [...] eles tem a mesma massa, então para eles	

	terem parado logo depois da colisão eles tem que ter tido também a mesma velocidade”.	
Deformação.	“... os dois tinham uma determinada quantidade de energia cinética antes de colidir e quando eles colidiram toda essa energia ela foi transformada em som, em calor e também foi utilizada para deformar o carro”.	- Num sistema isolado, a energia é conservada (teorema-em-ato). - $\Delta U = Q - W$ (teorema-em-ato). - $\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$.
Tradução matemática.	“Eu lembro da conservação da quantidade de movimento [...] e da conservação da energia cinética, tendo em vista que ela foi transformada em outros tipos de energia depois da colisão”.	
Comentários:		
✓ O sujeito não parece ter dificuldades na mobilização e articulação conceitual dos invariantes relacionados à conservação da energia mecânica e conservação da Quantidade de Movimento. ✓ A resposta do sujeito durante a mediação complementa o raciocínio durante a questão aberta acerca da dissipação da energia ao considerar som, calor e deformação.		
Situação 5: Colisão elástica		
Questão aberta (A):		
1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece os elementos presentes na figura, assim como o fenômeno apresentado. 2. Explicação do fenômeno: O aluno explica o fenômeno privilegiando aspectos do real. 3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): Luiz Antônio associa o fenômeno sugerido na figura por meio do teorema-em-ato “...eles podem colidir e retornar em sentidos opostos dos iniciais com a mesma velocidade”.		

Comentário:		
✓ A explicação do aluno mantém-se no nível das relações com o real.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Qual papel da mola?	“O papel da mola pelo que eu entendi aqui seria de transferir energia cinética de um pro outro e também na quantidade de movimento.”	<ul style="list-style-type: none"> - Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva. (teorema-em-ato). - potencial elástica (conceito-em-ato). - $F = -k\Delta x$ (conceito-em-ato). - $\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$ (teorema-em-ato).
A velocidade dos blocos antes, durante e após a colisão.	“...Eu interpretei aqui que são dois blocos iguais e com a mesma velocidade. Então durante a colisão a mola comprime transformando a energia cinética dos dois em energia potencial elástica e depois da colisão a mola volta e devolve a mesma energia cinética pros dois...”	<ul style="list-style-type: none"> - Energia cinética é proporcional à velocidade (teorema-em-ato). - Numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada (teorema-em-ato). - Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada (teorema-em-ato).
Tradução matemática.	“Tem a questão da conservação da energia mecânica. A energia cinética se transformaria em energia potencial elástica e eu acho que dá pra olhar sobre a perspectiva da conservação da quantidade de movimento também”.	<ul style="list-style-type: none"> - Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada (teorema-em-ato). - $\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$⁴⁷ (teorema-em-ato).
Comentários:		
✓ Luiz Antônio associa o papel da mola na colisão como a de um agente causal e/ou fluído (ingrediente ou produto) ao ser um tipo de ‘armazenador’		

⁴⁷ Acerca desse teorema-em-ato, “ $\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$ ”, já havia sido inferido fortemente durante a explicação aberta. Em nossas análises, privilegiamos apenas a inferência espontânea, já que o sujeito menciona explicitamente, tal teorema na explicação mediada.

responsável pelo acúmulo da energia proveniente do bloco ao qual está fixada (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 193-195) e que, durante a colisão, absorveria o do outro e os redistribuiria aos dois. Contudo, na continuação de sua explicação, pode-se perceber que ele justifica tal associação com as devidas transformações da energia cinética dos blocos (antes da colisão) para potencial elástica (durante a colisão) e novamente, cinética (após a colisão).

- ✓ O aluno mobiliza, de maneira pertinente, os principais invariantes operatórios solicitados na situação proposta, como conservação da Quantidade de Movimento e conservação da energia mecânica.
- ✓ O sujeito não menciona a relação quadrática da velocidade para a energia cinética.

Situação 6: Dissipação da energia mecânica em forma de calor

Questão aberta (A):

- 1. Tomada de informação sobre o real:** Luiz Antônio reconhece os elementos e o fenômeno apresentado na figura.
- 2. Explicação do fenômeno:** Ele explica o fenômeno considerando os elementos e condições apresentadas.
- 3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s):** O aluno associa os movimentos dos dois blocos após o rompimento do fio com o teorema-em-ato “num sistema isolado, a energia total é conservada” ao considerar que a energia inicial será convertida em cinética (bloco sobre a superfície lisa) e em calor mais cinética (bloco sobre a superfície áspera). Nesses termos, também considera o teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva” para o bloco sobre a superfície lisa, após o início do movimento; “ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ” (para o bloco sobre a superfície com atrito).

Comentários:

- ✓ Luiz Antônio reconhece os principais invariantes operatórios presentes na situação apresentada, de maneira explícita e pertinente. Contudo, nada

<p>menção acerca do caráter microscópico da conservação da energia.</p> <p>✓ O aluno privilegia tanto os aspectos da dinâmica newtoniana quanto os aspectos do princípio de conservação da energia.</p>		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
A velocidade inicial de cada bloco após o fio ser rompido.	“... acredito [...] os dois saem exatamente com a mesma velocidade”.	<ul style="list-style-type: none"> - $v_{inicial}^{bloco1} = v_{inicial}^{bloco2}$. - $E_{cin}^{inicial1} = E_{cin}^{inicial2}$.
Distâncias percorridas.	“Eu acredito que o da superfície lisa, [...] vai percorrer uma distância infinita. [...] Já o da superfície rugosa vai percorrer uma distância finita porque vai ter uma força que vai fazer com que ele pare...”	<ul style="list-style-type: none"> - Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva (teorema-em-ato). - Num sistema isolado, a energia total é conservada (teorema-em-ato).
Massa do bloco no atrito.	“... o bloco de gelo como vai ter o atrito entre ele e a superfície rugosa, esse atrito pode produzir calor e esse calor pode fazer com que ele mude de estado físico. Então eu acho que a massa do bloco de gelo no final, acho que diminui devido ao atrito com a superfície.”	<ul style="list-style-type: none"> - $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ (teorema-em-ato).
Tradução matemática.	“... transformação de energia elástica em energia cinética. [...] leis de Newton, a primeira lei da inércia [...] o calor produzido é devido ao contato entre a superfície rugosa e o gelo.”	<ul style="list-style-type: none"> - Inércia (conceito-em-ato). - $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ (teorema-em-ato).
Comentários:		
<p>✓ O aluno mobiliza, de modo pertinente, os invariantes operatórios propostos para a situação apresentada.</p> <p>✓ Luiz Antônio consegue valer-se de invariantes da dinâmica newtoniana e do princípio de conservação da energia.</p> <p>✓ O teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva” parece estabilizado para o sujeito.</p>		

Situação 7: Relógio de Pêndulo		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece o relógio de pêndulo apresentado na foto.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno explica o funcionamento do pêndulo considerando aspectos conceituais.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) invariantes (s) operatório (s) à partir do real: Luiz Antônio associa o funcionamento dos ponteiros com a oscilação completa realizada pela pêndulo.</p>		
Comentário:		
✓ O aluno não mobiliza nenhum invariante-operatório relevante para explicar o fenômeno apresentado.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Causa/manutenção do movimento.	<p>S: "...o que faz ele funcionar é a gravidade..."</p> <p>...</p> <p>S: "...deve ter algum mecanismo no interior dele que faça com que o pêndulo continue funcionando."</p> <p>S: "E de alguma forma este mecanismo para de funcionar".</p>	
Posição de máxima velocidade do pêndulo.		<p>- Energia cinética é proporcional à velocidade (teorema-em-ato).</p> <p>- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva. (teorema-em-ato).</p> <p>- $\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$ (teorema-em-ato).</p>
Forças que atuam no pêndulo no movimento descendente e	<p>"... e essa situação aqui ele tá subindo (desenho 2) na mesma posição ele vai ter uma diminuição da energia cinética dele também da velocidade,</p>	

ascendente num mesmo ponto.	mas nas duas situações a velocidade é a mesma, só que numa no instante posterior a velocidade aumenta e noutra a velocidade diminui.”	
Vetor $\vec{d_s}$ num mesmo ponto com o corpo no movimento descendente e no movimento ascendente.
Tradução matemática do fenômeno.	“...tem uma equação que relaciona a força de tração, o período de oscilação com o comprimento do fio e a aceleração da gravidade...”	
Comentários:		
✓ Luiz Antônio mobiliza, de forma pertinente, os principais invariantes operatórios propostos para a situação. ✓ O aluno utiliza tanto invariantes envolvidos com a conservação da energia mecânica quanto com os da dinâmica newtoniana.		
Situação 8: Queda livre		
Questão aberta (A):		
1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece o fenômeno apresentado na figura. 2. Explicação do fenômeno: Luiz Antônio explica o lançamento da bolinha pelo menino. A bolinha sobe, desacelerando pelo efeito da gravidade, para e desce acelerada pelo efeito da gravidade. 3. Associação de um elemento do real à um invariante operatório: Luiz Antônio associa o lançamento da bolinha pelo menino por meio dos conceitos-em-ato “velocidade”, “altura” e “aceleração da gravidade” articulados no teorema-em-ato “a velocidade do corpo ao atingir o ponto de altura máxima, durante o lançamento vertical ascendente, é nula”.		

Comentário:		
✓ Embora o aluno mobilize invariantes relevantes, não os associa de modo pertinente.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Causa do movimento.	“A partir do momento em que a pessoa exerce uma força sobre ela na vertical pra cima.”	- Impulso (conceito-em-ato).
Evolução da velocidade e da altura do corpo.	“A velocidade, ela vai diminuindo com o decorrer do tempo exatamente pela ação da gravidade. [...], vai desacelerando e atinge uma altura máxima.”	- Altura e velocidade são inversamente proporcionais durante o movimento vertical (teorema-em-ato).
Tradução matemática.
Simetria no movimento (totalmente mediado através do auxílio do pesquisador).	1) Torricelli:
	2) Representação:
	3) Reescrevendo Torricelli:

	<p>4) Reorganizando, de acordo com índices comuns:</p> <p>P: “Agora é o seguinte, se eu colocar todas as grandezas com mesmo índice de um lado, fazer h_a e v_a de um lado e fazer v_b e h_b de outro, como é que ficaria?”</p> <p>S: “Então, v_b ao quadrado menos dois $g h_b$ é igual a v_a ao quadrado mais dois $g h_a$.”</p> <p>P: “Essa equação que você acabou de escrever, ela te... é possível explicar o movimento através dessa equação?”</p> <p>S: “... Isso aqui pra mim tá sendo traduzido pela conservação da energia porque se eu multiplico a massa nos dois lados (acrescentando m em todos os termos) e divido os dois lados por dois (acrescentando um termo 1 sobre 2 em todos os termos) eu tenho esse termo que seria a energia cinética do ‘b’, esse daqui a energia potencial no ‘b’, aqui seria a energia cinética em ‘a’ e energia potencial em ‘a’”</p>
Comentários:		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Para esta situação o aluno não mobiliza, em nenhum momento, o princípio de conservação da energia. ✓ O aluno não se vale, em nenhum momento, da conservação da energia mecânica. ✓ As explicações de Luiz Antônio ocorrem no nível do real. 		

- ✓ Por curiosidade, o aluno percebe a simetria durante o desenvolvimento mediado e, antes da finalização, conclui que se trata da conservação da energia mecânica.

3.2.1.4.1 Invariantes operatórios utilizados no conjunto das situações apresentadas

1. Invariantes operatórios do tipo [R-R]:

Invariantes Operatórios [R-R]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“Eles podem colidir e retornar em sentidos opostos dos iniciais com a mesma velocidade”.					U			
“A velocidade do corpo ao atingir o ponto de altura máxima, durante o lançamento vertical ascendente, é nula”.								U
“Altura e velocidade são inversamente proporcionais durante o movimento vertical”.								U

Tabela 24 - I.O. do tipo [R-R] de Luiz Antônio.

2. Invariantes operatórios [R-C]:

Invariantes Operatórios [R-C]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva”.	U	U			U	U	U	
“ $F_{resultante} = m.a$ ”.	U		U					

“Energia potencial é proporcional à altura”.	U							
“Numa colisão inelástica, a energia cinética é dissipada”.				U				
“ $\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$ ”.				U	U			
“Numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada”.					U			
“Energia cinética é proporcional à velocidade”.					U		U	

Tabela 25 - I.O. do tipo [R-C] de Luiz Antônio.

3. Os invariantes operatórios interpretativos [C-C]:

Invariantes Operatórios [C-C]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ”.	U					U		
“A energia mecânica inicial será convertida, parcialmente, em energia mecânica final e calor (atrito)”.	U					U		
“Num sistema isolado, a energia é conservada”.				U		U		
“ $\Delta U = Q - W$ ”.				U				
“ $\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$ ”.							U	

Tabela 26 - I.O. do tipo [C-C] de Luiz Antônio.

3.2.1.4.2 Conceitos não mobilizados

- Em nenhuma situação proposta o aluno Luiz Antônio mobilizou, articulou, seja de maneira explícita, seja implícita invariantes relacionados ao trabalho, potência ou conservação de energia num nível microscópico.

3.2.1.4.3 Organização das condutas

a. Combinação de invariantes operatórios de maneira explícita ou consciente

- Luiz Antônio menciona, em sete oportunidades, invariantes operatórios de maneira explícita. Em cinco dessas oportunidades, as inferências estão relacionadas à conservação da energia mecânica, sendo duas delas na primeira situação. Além disso, a mobilização e articulação de tais invariantes ocorreram de maneira contextualizada.

- O aluno também invocou, explicitamente, a conservação da Quantidade de Movimento para as situações 5 e 6.

- As explicações do aluno para a mobilização dos invariantes de maneira explícita ocorreram ao relacionar invariantes do tipo [R-C].

b. Combinação de invariantes operatórios de maneira implícita, com tomada parcial ou plena de consciência

- A maioria dos invariantes invocados pelo sujeito ocorreu de maneira implícita. Deve-se destacar, porém, que, desse total, as inferências realizadas nos permite afirmar que o raciocínio do sujeito estava muito próximo de ser explicitado.

- Há indícios de que o aluno tenha bom conhecimento do princípio de conservação de energia, no sentido mais amplo, mas o conjunto de situações e respostas não nos permite avançar no que diz respeito à estabilização de tal teorema por parte do sujeito.

3.2.1.4.4 Controle sobre os aspectos do real

a. Com controle produtivo

- Luiz Antônio apresenta grande domínio dos conceitos físicos pertinentes às situações tratadas. Em muitos casos, nada podemos inferir acerca do controle sobre os aspectos do real e do conceito mobilizados por ele, mas para alguns invariantes operatórios o controle é fortemente percebido.
- O teorema-em-ato “ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ” aparece, implicitamente, em suas argumentações, contextualizada de maneira pertinente nas situações 1 e 6.
- O teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada” é mobilizado, com controle produtivo, nas situações 1, 2 e 5.
- Na situação 4, ele mobiliza explicitamente, com controle produtivo, o teorema-em-ato “numa colisão inelástica, a energia cinética é dissipada” e “num sistema isolado, a energia é conservada”.
- Na situação 5, o teorema-em-ato “ $\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$ ” parece ser mobilizado de maneira produtiva.
- O teorema-em-ato “energia cinética é proporcional à velocidade” é mobilizado, de forma implícita, na situação 7.
- Os teoremas-em-ato do tipo descritivos ([R-R]), estão presentes, de forma produtiva, nas situações 5 e 8.

b. Sem controle produtivo

- A análise dos dados e situações apenas nos permitem afirmar que o teorema-em-ato “ $F_{resultante} = m.a$ ” foi mobilizado pelo sujeito sem controle produtivo, explicitamente ou não.

3.2.1.5 O Caso Sálvio

Respostas para as questões de acordo com as situações propostas		
Nível de instrução: 8º semestre (bacharel)		
Idade: 25		
Situação 1: <i>Looping</i>		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: Sálvio reconhece o <i>looping</i> apresentado na foto.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno explica o fenômeno contando com a possibilidade de o corpo passar para o outro lado, ou não. Relaciona tal possibilidade com a energia ou impulso inicial.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno associa o fenômeno sugerido na figura com a possibilidade do corpo passar para o outro lado por meio do uso do teorema em ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva” ou do conceito-em-ato “impulso”.</p>		
Comentários:		
<p>✓ Para explicar a possibilidade de o corpo passar para o outro lado do <i>looping</i>, Sálvio lança mão, de modo pertinente, de duas possibilidades: ou através do teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva” ou através do conceito-em-ato “impulso”.</p> <p>✓ O aluno parece não ter dificuldades para explicar o fenômeno utilizando invariantes operatórios pertinentes.</p>		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Explique em quais condições o carrinho pode atingir a altura máxima.	“...Tem que soltar dessa mesma altura né do carrinho à esquerda né?! Supondo que é tudo muito bonito, não tem atrito e tudo mais”.	<p>- Na ausência de forças dissipativas a energia mecânica do sistema é conservada (teorema-em-ato).</p> <p>- Num sistema isolado, a energia total é conservada (teorema-em-ato).</p>

Comentário:		
✓ O teorema-em-ato “num sistema isolado, a energia total é conservada” parece estabilizado. Podemos realizar essa inferência a partir da resposta livre e da resposta mediada.		
Situação 2: Colchão de ar		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece a figura do real apresentada na foto.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: Sálvio consegue articular o fenômeno real com conceitos relacionados ao movimento.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real a um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O sujeito relaciona o ar expelido pelo colchão de ar com o conceito-em-ato ‘peso’ do disco e, de modo pertinente, o peso do disco com o conceito-em-ato ‘atrito’ articulando-os, implicitamente, nos teoremas-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada” e “num sistema isolado, a energia total é conservada”.</p>		
Comentário:		
✓ Sálvio mobiliza de maneira pertinente o conceito-em-ato “atrito” para fazer referência ao conceito físico envolvido no jogo.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Função do colchão de ar.	“...tirar o atrito do disco com a mesa...”	- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada (teorema-em-ato).
Causa do movimento inicial.	“você precisa de um empurrão externo com essas duas coisinhas aqui...”	- Impulso (conceito-em-ato)
Colisão do disco nas laterais da mesa.		

Comentário:
✓ O aluno inicia, de modo pertinente, mobilizando e articulando invariantes operatórios relevantes à situação. Entretanto, percebe-se que, pouco a pouco, vai abandonando o rigor conceitual em troca de invariantes operatórios do real.
Situação 3: Plano inclinado
Questão aberta (A):
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece os elementos apresentados na figura.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: Sálvio explica, de maneira pertinente, o fenômeno valendo-se das angulações dos dois planos inclinados, da maior e menor influência da força peso em cada um dos dois e da dissipação da energia mecânica na forma de calor, devido ao atrito.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): Sálvio associa, de modo pertinente, os elementos do real inclinação dos planos inclinados, aspereza da superfície e blocos com os invariantes operatórios: 1) “$F_{resultante} = m.a$” (assumindo $F_{resultante}^{blocoL} \rangle F_{resultante}^{blocoL}$) (teorema-em-ato), ao afirmar que o bloco sobre uma ou outra superfície terá maior ou menor influência da atração gravitacional por conta das devidas inclinações; 2) “$E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$” (teorema-em-ato), ao mobilizar o conceito-em-ato “atrito”.</p>
Comentário:
✓ O aluno mobiliza, de forma pertinente, invariantes operatórios da situação apresentada. Reconhece, também, o aquecimento dos blocos (mas não o das rampas) por causa do atrito. Pode-se inferir, dessa forma, o invariante operatório “num sistema isolado, a energia total é conservada” (teorema-em-ato) e “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada” (teorema-em-ato).

Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Variação da velocidade.	“...aqui no primeiro caso, [...] a velocidade vai se evoluindo mais rapidamente por causa que você vai ter mais atração gravitacional agindo no bloco...”.	- $P_{potência} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ (conceito-em-ato).
Tempo de descida.	“... A velocidade é maior, e o l menor no primeiro (apontando para a primeira figura). Muito menos tempo do que no outro”.	
Tradução matemática.		- $F_{resultante} = m.a$ (teorema-em-ato).
Comentário:		
<p>✓ Sálvio mobiliza e articula, de modo pertinente, a maioria dos invariantes operatórios envolvidos na situação. Consideramos, “$P_{potência} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$” como teorema-em-ato levando em consideração a definição adotada por Vergnaud de que se trata de um invariante do tipo “proposicional” e não um invariante do tipo “função proposicional”. Nesse sentido, por se tratar de inferência, reconhecemos que tal invariante, por parte do sujeito, pode ser verdadeiro ou falso.</p>		
Situação 4: Colisão inelástica		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece o fenômeno apresentado na figura.</p>		
Comentário:		
<p>✓ Sálvio limita-se a reconhecer o fenômeno apresentado na foto com base no real.</p>		

Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Velocidade dos veículos.	“...Pra eu poder falar alguma coisa de velocidade eu preciso saber se eles tem a mesma massa. Se caso eles tenham a mesma massa, a velocidade de ambos era a mesma. Eles bateram e pararam...”.	<ul style="list-style-type: none">- $\Delta \vec{Q}_{sistema} = \vec{0}$ (teorema-em-ato).- Numa colisão inelástica, a energia cinética é dissipada (teorema-em-ato).- Num sistema isolado, a energia total é conservada (teorema-em-ato).
Deformação.	“...eu acredito que tá no fato de transferência de energia de um carro pro outro né. [...] Quer dizer que a transferência de energia entre os dois carros que bateram foi suficiente pra deformar.”	
Tradução matemática.	“...isso aqui (apontando para a figura) é uma colisão inelástica [...]. Quer dizer, você tinha uma energia vindo de um lado e uma energia vindo do outro lado, então você transferiu ela pra algum lugar e foi exatamente na deformação...”	
Comentários:		
<ul style="list-style-type: none">✓ O aluno mobiliza, de maneira pertinente, o teorema-em-ato “numa colisão inelástica, a energia cinética é totalmente dissipada”. Embora o aluno apresente algumas dúvidas com relação à definição de colisões elásticas e inelásticas, tal teorema parece estabilizado pelo sujeito.✓ O aluno mobiliza, de maneira pertinente, os principais invariantes operatórios propostos na situação.		
Situação 5: Colisão elástica		
Questão aberta (A):		
<ol style="list-style-type: none">1. Tomada de informação sobre o real: Sálvio reconhece os elementos apresentados do real e fenômeno ‘colisão elástica’.2. Explicação do fenômeno: O aluno explica o fenômeno considerando o papel da mola e as possibilidades de interação dos elementos presentes		

no sistema.

- 3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s):** O aluno utiliza o invariante operatório “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva” (teorema-em-ato) ao afirmar que a mola do “bloco 1” transferirá energia para o “bloco 2”, que será empurrado no sentido oposto ao que estava antes da colisão; também utiliza o invariante operatório “ $\Delta \vec{Q}_{sistema} = \vec{0}$ ” (teorema-em-ato); assim como o conceito-em-ato “colisão elástica”.

Comentários:

- ✓ Sálvio mobiliza, de maneira pertinente, os principais conceitos propostos na situação. O invariante operatório ‘colisão elástica’ (conceito-em-ato) parece estabilizado pelo sujeito, embora não esteja explícito em suas respostas.
- ✓ As respostas de Sálvio consideram conceitos relacionados ao real (figura), de maneira pertinente.

Explicação mediada (M):

Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Qual papel da mola?	“Transferir energia”.	
A velocidade dos blocos antes, durante e após a colisão.	“...Durante: ... a mola tem uma constante definida igual a k, [...] essa mola vai ser comprimida, então você vai transferir energia tanto do bloco 2 quanto do bloco 1 pra mola e depois da colisão [...] essa mola vai tender voltar ao seu comprimento [...] de repouso na qual ela não tem energia e ao fazer isso ela pode tanto, dependendo das massas dos blocos, empurrar o bloco 1 pro lado oposto de onde ele estava vindo ou então fazer com que o bloco 1 continue no mesmo sentido ou fazer com que recue o bloco 2; tudo depende das massas”.	<ul style="list-style-type: none"> - $\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$ (teorema-em-ato). - Numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada (teorema-em-ato). - Na ausência de forças dissipativas, a mecânica se conserva (teorema-em-ato). - $F = -k\Delta x$ (conceito-em-ato).

Tradução matemática.	<p>“A tradução é a conservação de energia.”</p> <p>- $E_{mec} = T_{sist} + U_{sist} = const$ (conceito-em-ato).</p> <p>- $E_{mecfinal} = E_{mecinicial}$ (teorema-em-ato).</p>
Comentários:	
<p>✓ Sálvio mobiliza, de maneira pertinente, todos os invariantes operatórios propostos para a situação dada.</p> <p>✓ O teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva” parece estabilizado para o aluno.</p> <p>✓ A análise da resposta dada pelo sujeito acerca do papel da mola como sendo “transferir energia” não expressa, de maneira fiel, aquilo que poderia ser, eventualmente, categorizado em ‘fluido, ingrediente ou produto’ ou ‘depósito’ nas pesquisas acerca das concepções espontâneas (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 193-195).</p>	
Situação 6: Dissipação da energia mecânica em forma de calor	
Questão aberta (A):	
<p>1. Tomada de informação sobre o real: Sálvio reconhece os elementos do real e o fenômeno envolvido na figura apresentada.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno explica que, após o fio romper-se, a mola tende a voltar a seu estado de repouso, empurrando os blocos, que sofrerão influência das superfícies que se encontram.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real a um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno mobiliza o teorema-em-ato “num sistema isolado, a energia total é conservada” ao considerar a condição inicial da mola, o movimento, sem atrito, do bloco sobre a superfície lisa e o movimento do bloco sobre a superfície áspera que, devido ao atrito, esquentará e perderá massa. Nesse sentido, o aluno também mobiliza o teorema-em-ato “$\Delta U = Q - W$” ao considerar a condição termodinâmica envolvida na situação.</p>	

Comentários:		
<p>✓ O aluno mobiliza, de maneira pertinente, os principais invariantes operatórios envolvidos na situação apresentada (atrito, modalidade elástica de energia, assume uma direção e sentidos para os possíveis movimentos, aquecimento etc).</p> <p>✓ Em nosso entendimento, outros invariantes, não explícitos, estão na condição de serem explicitáveis⁴⁸ (por exemplo, energia interna e considerações microscópicas da conservação e degradação). Nesse sentido, as respostas do aluno, para essa situação, aproxima-se muito da categoria 5 do estudo preliminar.</p>		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
A velocidade inicial de cada bloco após o fio ser rompido.	“Eu considere a mesma massa de gelo; a velocidade inicial é a mesma.”	<ul style="list-style-type: none"> - $F = -k\Delta x$ (conceito-em-ato). - Sistema fechado (conceito-em-ato) - Sistema aberto (conceito-em-ato). - Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva (teorema-em-ato)⁴⁹. - Num sistema isolado, a energia total é conservada (teorema-em-ato). - $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ (teorema-em-ato).
Distâncias percorridas.	“O gelo que tá na superfície lisa vai até o infinito; na superfície rugosa tem que parar uma hora.”	
Massa do bloco no atrito.	“Ele vai perder massa né, pro ambiente ali devido a temperatura, temperatura ambiente também. Então vai esquentar quando sofrer o atrito com a superfície e vai perder um tanto de massa, então tem diferença né do inicial pro final.”	
Tradução matemática.	“Exatamente conservação de energia né. Aí vai acontecer que vou ter que saber o quanto de energia eu tô perdendo por atrito, o quanto de energia vai ter no final e vai ser tudo energia que tava na mola.”	

⁴⁸ Ver diagrama 5, subitem 1.2.2.3.

⁴⁹ Considerando apenas o movimento do bloco na superfície lisa, após o início do movimento.

Comentários:
<ul style="list-style-type: none"> ✓ O aluno mobiliza, de maneira pertinente, todos os invariantes operatórios propostos para a situação apresentada. ✓ Sálvio privilegia o uso dos conceitos de energia ao invés dos da dinâmica newtoniana. ✓ O princípio de conservação da energia, num sentido mais amplo, parece estabilizado pelo sujeito. ✓ O aluno não mobiliza, explicitamente, a conservação da energia em nível microscópico.
Situação 7: Relógio de Pêndulo
Questão aberta (A):
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece o relógio de pêndulo apresentado na foto. 2. Explicação do fenômeno: Sálvio mobiliza invariantes operatórios, como, por exemplo, “unidade de tempo”, “eixo y” e “ciclo” para explicar o funcionamento do relógio. 3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real a um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno relaciona o funcionamento do relógio associando os elementos do real aos invariantes operatórios “unidade de tempo” (conceito-em-ato), “período” (conceito-em-ato) de maneira explícita.
Comentários:
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sálvio não apresenta dificuldades para mobilizar alguns dos invariantes operatórios envolvidos no funcionamento do relógio. ✓ Embora o aluno mencione o conceito-em-ato “período”, de maneira explícita, em sua explicação, nada podemos inferir acerca de seu raciocínio para o princípio de conservação da energia ou para a conservação da energia mecânica.

Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Causa/manutenção do movimento.	“Ele funciona pelo período do pêndulo né?! O pêndulo vai sofrer força de arrasto, então eu preciso ter alguma coisa no relógio pra dar uma empurradinha nele para manter.”	<div>- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva (teorema-em-ato).</div> <div>- Num sistema isolado, a energia total é conservada (teorema-em-ato).</div> <div>- $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ (teorema-em-ato).</div> <div>- $\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$ (teorema-em-ato).</div>
Posição de máxima velocidade do pêndulo.
Forças que atuam no pêndulo no movimento descendente e ascendente num mesmo ponto.	“...Este pêndulo está subindo, ...”
Vetor d $\vec{s}$ num mesmo ponto com o corpo no movimento descendente e no movimento ascendente.	“...no outro caso eu vou tá voltando né?...”
Tradução matemática do fenômeno.	“Basicamente a de energia.”	
Comentários:		
<div>✓ O aluno mobiliza e articula, de maneira pertinente, os principais invariantes operatórios envolvidos na situação proposta.</div> <div>✓ Os teoremas-em-ato “princípio de conservação de energia”, num sentido mais amplo, e “a conservação da energia mecânica”, num sentido mais restrito, parecem estabilizados por parte do sujeito.</div> <div>✓ As respostas do aluno sugerem conhecimento dos significantes e significados relacionados à devida tradução matemática proposta na situação.</div> <div>✓ O aluno não menciona o caráter microscópico da energia.</div>		

Situação 8: Queda livre		
Questão Aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: O aluno reconhece os elementos e o fenômeno apresentado na figura.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno explica o fenômeno considerando condição ideal (sem atrito) e que, nessa condição, a velocidade de saída e retorno à mão do garoto são as mesmas; ao sair da mão do garoto ela desacelerará por causa da interação com o campo gravitacional.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): Sálvio associa a desaceleração da bolinha, durante o movimento ascendente, e a aceleração, durante o movimento descendente, com o conceito-em-ato “campo gravitacional”, de maneira explícita.</p>		
Comentários:		
<p>✓ O aluno nada infere sobre alguma relação da situação com modalidades de energia envolvidas, nem com princípio de conservação.</p> <p>✓ O aluno nada infere sobre a relação entre a altura máxima alcançada pela bolinha e sua velocidade nesse ponto.</p> <p>✓ O invariante operatório “campo gravitacional” é mobilizado de forma implícita.</p>		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Causa do movimento.	“...Porque o garoto está empurrando lá pra cima.”	- Impulso (conceito-em-ato).
Evolução da velocidade e da altura do corpo.	<p>“A velocidade vai decrescendo até chegar na altura máxima, depois a bolinha para, a velocidade começa aumentar de novo, mas no sentido oposto que o anterior.”</p> <p>“...vai subindo, tem um máximo, depois vai descer que é a altura inicial.”</p>	<p>- Altura e velocidade são inversamente proporcionais durante o movimento vertical (teorema-em-ato).</p> <p>- Energia potencial é proporcional à altura (teorema-em-ato).</p> <p>- Energia cinética é proporcional à velocidade (teorema-em-ato).</p>

		- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada (teorema-em-ato).
Tradução matemática.		- $E_{mecfinal} = E_{mecinicial}$ (teorema-em-ato).
Simetria no movimento (totalmente mediado através do auxílio do pesquisador).	1) Torricelli:	
	$V_2^2 = V_1^2 - 2(h_2 - h_1)g$	
	2) Distribuindo:	
	$V_2^2 = V_1^2 - 2h_2g + 2h_1g$	
	3) (Re) articulando conceitualmente:	
	$V_2^2 + 2h_2g = V_1^2 + 2h_1g$	
	<p>P: “Você consegue explicar o movimento com essa daqui? (apontando a última formulinha)”</p> <p>S: “Ah, tem velocidade ao quadrado, tá certo! Então...conservação de velocidade aqui. Eu conseguiria explicar, acho”</p>	

	<p>4) Dividindo por 2 e multiplicando por m:</p> <p>...</p> <p>(antes de finalizar)</p> <p>S: Aí sim. Agora já entendi essa fórmula. Agora sim que você faz m v quadrado sobre 2 mais h2 g, isso aqui é energia cinética mais potencial e tem conservação de energia aqui também, tem que ser igual.</p> <p>P: “Essa é capaz de te explicar o movimento? (apontando para a última fórmula)”.</p> <p>S: “Sim!”</p>	
Comentários:		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Os invariantes operatórios utilizados, inicialmente, por Sálvio se encontram em nível do real (“impulso”, “altura” e “velocidade”). ✓ O aluno só faz menção, explicitamente, ao princípio de conservação da energia quando, durante a mediação, é questionado sobre alguma tradução matemática possível de explicar o fenômeno. ✓ Sálvio explica a evolução da velocidade e da altura, durante o movimento com o seguinte teorema-em-ato “altura e velocidade são inversamente proporcionais durante o movimento vertical”, assim como o estudo preliminar já havia indicado. ✓ O aluno percebe, de maneira implícita, a simetria presente na expressão desenvolvida, durante a mediação, para a conservação das velocidades. 		

3.2.1.5.1 Invariantes operatórios utilizados no conjunto das situações apresentadas

1. Invariantes operatórios do tipo [R-R]:

Invariantes Operatórios [R-R]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“Altura e velocidade são inversamente proporcionais durante o movimento vertical”.								⊕

Tabela 27 - I.O. do tipo [R-R] de Sálvio.

2. Invariantes operatórios [R-C]:

Invariantes Operatórios [R-C]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva”.	⊖	⊕	⊕		⊕	⊕	⊕	⊕
“ $F_{resultante} = m.a$ ”.			⊕					
“ $\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$ ”.				⊕	⊕			
“Numa colisão inelástica, a energia cinética é dissipada”.				⊕				
“ $E_{mecfinal} = E_{mecinicial}$ ”.					⊕			
“Numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada”.					⊕			

“Energia potencial é diretamente proporcional à altura”.								U
“Energia cinética é diretamente proporcional à velocidade”.								U

Tabela 28 - I.O. do tipo [R-C] de Sálvio.

3. Invariantes operatórios interpretativos [C-C]:

Invariantes Operatórios [C-C]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“Num sistema isolado, a energia total é conservada”.	$\overline{U}$	U	U	U		$\overline{U}$	U	
“ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ”.			U			U	U	
“ $\Delta U = Q - W$ ”.						U		
“ $\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$ ”.							U	

Tabela 29 - I.O. do tipo [C-C] de Sálvio.

3.2.1.5.2 Conceitos não mobilizados

- Nas situações propostas envolvendo dissipação de energia mecânica (atrito), o aluno não mencionou, de maneira explícita, a conservação da energia do ponto de vista microscópico; ou seja, uma possível relação com a energia interna.

- O aluno privilegiou a mobilização do princípio de conservação da energia, em vez da dinâmica newtoniana.

3.2.1.5.3 Organização das condutas

a. Combinação de invariantes operatórios de maneira explícita

- As inferências realizadas, a partir das respostas do sujeito, permite-nos afirmar que o aluno mobiliza os conceitos de maneira pertinente, conscientemente. Isso significa que Sálvio possui um bom domínio dos conceitos envolvidos e é capaz de relacioná-los com o real.
- O sujeito mobiliza os conceitos de maneira consciente e os articula de forma contextualizada, ou seja, privilegiando outros conceitos pertinentes ao invés de explicações genéricas.

b. Combinação de invariantes operatórios de maneira implícita, com tomada parcial ou plena de consciência

- A conduta de Sálvio nos permite uma análise dos invariantes implícitos, no que diz respeito aos conhecimentos mobilizados pelo sujeito, privilegiando tanto as inferências no sentido forte (ou seja, aquelas aparentemente mais distanciadas do raciocínio) quanto as inferências no sentido fraco. Durante as explicações do sujeito, percebemos sua preocupação com explicações do tipo contextualizado e se fazendo valer de conceitos pertinentes às situações propostas. Muitas vezes, o próprio sujeito utilizava os invariantes pertinentes, de maneira explícita, o que nos levou a considerar que mesmo naqueles invariantes utilizados de maneira implícita o aluno ou não quis manifestar seu pensamento de forma clara (talvez, por não julgar necessário) ou pelo fato do conceito estar no limite do explicitável. Isso significa que o sujeito domina boa parte dos invariantes solicitados.
- Em alguns momentos, o aluno inicia as situações utilizando, de modo pertinente, invariantes operatórios relativos às situações propostas. Porém, percebe-se, algumas vezes, que tal rigor conceitual vai, pouco a pouco, sendo abandonado em troca de invariantes próximos ao real.
- Por vezes, o sujeito estabeleceu “condições de contorno” (tais como referencial, desconsiderar atrito e/ou resistência do ar etc) para fazer uso dos invariantes operatórios adequados, aproximando a situação real da teórica ideal.

3.2.1.5.4 Controle sobre os aspectos do real

a. Com controle produtivo

- Por várias vezes, seja no momento espontâneo, seja no momento mediado, o aluno realiza inferências sobre as condições ideais para conservação da energia.
- O teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia cinética é conservada” é mobilizado pelo sujeito com relativa frequência.
- O teorema-em-ato “num sistema isolado, a energia total é conservada” também é mobilizado pelo sujeito com relativa frequência, nas situações propostas.
- Durante o momento espontâneo, na situação 3, o aluno relaciona a inclinação dos planos para justificar maior ou menor velocidade dos blocos. O conceito-em-ato “atrito” está presente, explicitamente, em suas explicações, assim como “ $F_{resultante} = m.a$ ” (teorema-em-ato), de maneira implícita. O aluno demonstra ter controle produtivo dos invariantes pertinentes e os relaciona em nível interpretativo [R-C].
- Na situação 4, o teorema-em-ato “numa colisão inelástica, a energia cinética é dissipada” está presente, de maneira implícita no momento mediado, mas com controle produtivo.
- O aluno realiza estimativas acerca da massa e da velocidade dos veículos para fazer suas inferências.
- O uso do teorema-em-ato “numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada” é mobilizado com controle produtivo na situação 5.
- O aluno mobiliza significantes formalizados em suas explicações, na situação 6, tal como “- $\hat{x}$ ” e “+ $\hat{x}$ ” para explicar qual a direção e sentido que os blocos tendem a ter movimento.
- Sálvio considera o fenômeno do aquecimento do bloco de gelo na superfície com atrito e, conseqüentemente, perda de massa.

- O aluno recorre a invariantes formalizados, espontaneamente, para explicar a situação 7.

3.2.1.6 O Caso Renata

Nível de instrução: 8º semestre (bacharel)		
Idade: 22		
Respostas para as questões de acordo com as situações propostas		
Situação 1: <i>Looping</i>		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: A aluna reconhece o <i>looping</i> apresentado na foto.</p> <p>2. Identificação do fenômeno: A aluna explica o fenômeno recorrendo aos conceitos de energia mecânica (potencial e cinética).</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): A aluna associa, o possível movimento do corpo mobilizando os conceitos-em-ato “energia cinética” e “energia potencial”, articulando-os, de forma consciente, no teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada”.</p>		
Comentários:		
<p>✓ A aluna associa, de modo pertinente, explicitamente as transformações de Energias mecânica (cinética para potencial) do corpo que ocorrem no trecho do <i>looping</i>.</p> <p>✓ A aluna confunde, por descuido, energia cinética com potencial, e vice-versa.</p>		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Explique em quais condições o carrinho pode atingir a altura máxima.	“...Aqui (indicando a altura com a mão esquerda e o movimento do corpo, a partir desta altura com a mão direita) ele já tem uma energia potencial. Essa energia potencial vai se transformando em cinética até que chega aqui em baixo, toda energia potencial foi	<p>- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada (teorema-em-ato).</p> <p>- No movimento vertical, há transformação de energia cinética em potencial e vice-versa (teorema-em-ato).</p>

	transformada em cinética. E aqui (na posição de menor altura no <i>looping</i>) pra ele subir (indicando que o corpo dará uma volta no <i>looping</i>) ele vai perdendo velocidade, vai perdendo energia cinética e vai ganhando energia potencial de novo...”	
Comentário:		
- A aluna mobiliza e articula, de modo pertinente, o teorema-em-ato “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada”.		
- A aluna apresenta pouca dificuldade na articulação dos conceitos.		
Situação 2: Colchão de ar		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: A aluna não reconhece a mesa de ar apresentada na foto. Ela imagina tratar-se de uma mesa lisa.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: A aluna imagina tratar-se de mesa lisa sobre a qual deslizaria o disco após ser impulsionado.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real a um (ou mais) invariante (s) operatório (s): A aluna associa, explicitamente, a superfície polida da mesa com o conceito-em-ato “atrito” e o possível movimento do disco com o conceito-em-ato “impulso”.</p>		
Comentário:		
<p>✓ A aluna mobiliza, de forma pertinente, os conceitos-em-ato “atrito” e “quantidade de movimento”.</p> <p>✓ A aluna não menciona transformação de energia, nem possíveis dissipações.</p>		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Função do colchão de ar.	“...eu imagino que seja pra menor atrito...”	- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada (teorema-em-ato).
Causa do movimento	“...por transferência de momento do disco...”	- Impulso (conceito-em-ato).

inicial.		
Colisão do disco nas laterais da mesa.	“Ação e reação. É, tem um força de reação que faz que ele reflita né!”.	- As forças atuam aos pares (conceito-em-ato). - Lei da ação e reação (conceito-em-ato).
Comentários:		
✓ A aluna mobiliza, de modo pertinente e conscientemente, o conceito-em-ato “impulso”. ✓ Em nenhum momento a aluna menciona, explicitamente, o princípio de conservação da energia.		
Situação 3: Plano inclinado		
Questão aberta (A):		
1. Tomada de informação sobre o real: A aluna reconhece os dois planos inclinados, mas mantém cautela e questiona o pesquisador sobre a possível trajetória dos blocos. 2. Explicação do fenômeno: O bloco sobre a primeira superfície descera com maior aceleração. 3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): A aluna associa o movimento do bloco ao teorema-em-ato “ $F_{resultante} = m.a$ ”.		
Comentário:		
✓ A aluna associa a figura ao movimento acelerado do bloco sem fazer nenhuma consideração ao atrito ou energia.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Variação da velocidade.	“..Tem a força peso né, pra baixo, e a força normal. Então, por exemplo, se a gente tivesse um plano que não fosse inclinado né, que fosse reto, então a força peso e força normal estaria se cancelando....” ... “...bom, não sei se é mais fácil começar com energia,	- $F_{resultante} = m.a$ (teorema-em-ato). - No movimento vertical, há transformação de energia cinética em potencial e vice-versa (teorema-em-ato). - Na ausência de forças dissipativas, a energia

	mas tem energia potencial porque a gente tem altura H e aí quando ela tá aqui pra baixo, supondo que esse é o ponto zero da situação ela não teria nenhuma energia potencial, então toda ela seria transformada em cinética.”	mecânica se conserva (teorema-em-ato).
Tempo de descida.		
Tradução matemática.		
Comentário:		
✓ A escolha de Renata no que diz respeito ao uso das leis de Newton ao invés do princípio de conservação de energia parece relacionar-se ao fato de tratar-se de uma condição ideal (com atrito). Essa constatação é percebida durante a mediação do item no qual o pesquisador a questiona sobre uma condição ideal (sem atrito); nessa nova condição, a aluna recorre, quase de imediato, ao princípio de conservação de energia mecânica. Contudo, no momento em que o pesquisador retoma as condições anteriores, a aluna retoma suas explicações baseadas na dinâmica newtoniana.		
Situação 4: Colisão inelástica		
Questão aberta (A):		
1. Tomada de informação sobre o real: A aluna reconhece a colisão da figura.		
2. Explicação do fenômeno: A aluna limita-se a identificar a colisão.		
Comentário:		
✓ A aluna não mobiliza nenhum invariante operatório.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Velocidade dos veículos.		
Deformação.	“Ela se dá na colisão, na transferência de momento. [...] Uma parte da energia	- Impulso (conceito-em-ato).

	é de transferência na colisão acaba sendo utilizada para deformação do corpo.”	- Numa colisão inelástica, a energia cinética é dissipada (teorema-em-ato). - $\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$ (teorema-em-ato).
Tradução matemática.		
Comentários:		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ A aluna faz pouco uso do princípio de conservação de energia nessa situação. Em vez disso, mobiliza, explicitamente, o conceito de momento, assim como a conservação do Momento de um sistema fechado. ✓ Parece que a aluna distingue com razoável clareza a diferença entre os conceitos de momento linear e energia cinética. Essa nossa inferência dá-se por meio de nossa percepção pelo cuidado dos termos mobilizados pela aluna-em-situação. 		
Situação 5: Colisão elástica		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: A aluna reconhece os elementos presentes na figura (blocos e mola).</p> <p>2. Explicação do fenômeno: A aluna explica o fenômeno, supondo uma possível colisão elástica.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): A aluna associa, de modo pertinente, o real com o seguinte teorema-em-ato “$\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$”, “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva” e “numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada”.</p>		
Comentário:		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ A aluna associa o teorema-em-ato “$\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$” para explicar o fenômeno. ✓ Ela não mobiliza o princípio de conservação de energia. 		

Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Qual papel da mola?	“...acho que a mola vai absorver um pouco impacto, ao invés do bloco B sofrer sozinho este impacto ele vai ter uma mola, então uma parte da força que...uma parte do momento que vai ser transferido pelo bloco A vai ser usado pra contrair essa mola né...”	
A velocidade dos blocos antes, durante e após a colisão	“...durante a colisão vai ter uma troca de momento [...] tem várias situações de colisão né [...], isso eu não lembro.”	
Tradução matemática		
Comentários:		
<p>✓ As respostas da aluna não apresentam nenhum indicativo de invariante operatório utilizado. A aluna faz menções aos tipos de colisões recorrendo às aulas experimentais de física, mas suas articulações, sempre com base no real, não nos permite inferir acerca de seu raciocínio.</p> <p>✓ Percebe-se que, de acordo com o trecho apresentado acima, para a função da mola, a resposta da aluna se aproxima das categorizações identificadas nas concepções espontâneas (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 193,195).</p>		
Situação 6: Dissipação da energia mecânica em forma de calor		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: A aluna reconhece os elementos do real e a situação apresentada na figura.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: A aluna explica que somente o bloco sobre a superfície lisa será lançado pela distensão da mola, assim que houver rompimento do fio.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): A aluna mobiliza o seguinte teorema-em-ato</p>		

<p>“na presença do atrito, a energia mecânica inicial (potencial elástica) é a soma do pseudo-trabalho realizado pela força de atrito e da energia mecânica final (cinética)” ou “$E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$”.</p>		
Comentário:		
- Renata parece preferir invariantes da dinâmica newtoniana aos da conservação da energia.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
A velocidade inicial de cada bloco após o fio ser rompido.	“...o que pode se dizer, quase com certeza é que o gelo na superfície lisa vai ter uma velocidade maior”.	
Distâncias percorridas.	“Da superfície lisa vai ser maior porque tem menor atrito. Tem menor não, não tem atrito”.	- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica (cinética) é conservada (teorema-em-ato).
Massa do bloco no atrito.	“Ah tá, eu acho que vão ser as mesmas. No final vão ser as mesmas”.	
Tradução matemática.	“...eu acho que dá pra fazer por conservação de momento. O problema é essa superfície rugosa...que aí teria que ver a força de atrito, teria que ver é...a força resultante sobre o gelo...”.	- $\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$ (teorema-em-ato). - $F_{resultante} = m.a$ (teorema-em-ato).
Comentários:		
<p>✓ Durante a situação, a aluna não mobiliza, explicitamente, o conceito de energia para explicar o fenômeno. Em vez disso, ela invoca a conservação da Quantidade de Movimento em várias oportunidades.</p> <p>✓ A opção adotada pela aluna para explicar os fenômenos e os itens das questões é por meio de conceitos da mecânica newtoniana que parecem estabilizados.</p>		

Situação 7: Relógio de Pêndulo		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: A aluna reconhece o relógio de pêndulo apresentado na foto.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: Após mediação do pesquisador, a aluna explica o funcionamento utilizando conceitos de energia e da dinâmica newtoniana.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): A aluna associa o movimento pendular com o seguinte teorema-em-ato: “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada”.</p>		
Comentário:		
✓ A aluna lança mão do princípio de conservação de energia para explicar o fenômeno somente após mediação do pesquisador ao explicar o mecanismo do relógio.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Causa/manutenção do movimento.	“...desconsiderando que não tenha esse atrito do ar, ou que ele seja desprezível, [...] é colocado ele, de forma que ele tenha uma energia potencial e aí ele realiza este movimento pendular transformando energia potencial em cinética e vice-versa [...]. Ele deixa de funcionar quando a força de atrito não é mais desprezível do ar e aí...”	<p>- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada (teorema-em-ato).</p> <p>- $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ (teorema-em-ato).</p>
Posição de máxima velocidade do pêndulo.		- $\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$ (teorema-em-ato).

Forças que atuam no pêndulo no movimento descendente e ascendente num mesmo ponto.
Vetor $\vec{d}$ num mesmo ponto com o corpo no movimento descendente e no movimento ascendente.		
Tradução matemática do fenômeno.	<p>“A gente faz a equação de Newton né, $F = m.a$. Na verdade a gente coloca numa equação diferencial com a força resultante...”.</p>	<p>- $F_{resultante} = m.a$ (teorema-em-ato).</p>
Comentário:		
✓ A aluna mobilizou, de forma pertinente, o conceito de conservação da energia mecânica; reconheceu o papel do atrito como agente dissipativo do movimento sem, contudo, vinculá-lo ao movimento em termos de energia.		
Situação 8: Queda livre		
Questão aberta (A):		
<p>1. Tomada de informação sobre o real: A aluna reconhece o fenômeno representado na figura.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: A aluna explica o fenômeno a partir da ação do menino sobre a bola, o movimento ascendente da bola e seu retorno.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real à um (ou mais) invariante (s) operatório (s): Renata associa o retorno da bolinha com a atração da força gravitacional, com o teorema-em-ato “num lançamento vertical ascendente, a velocidade do corpo será nula no ponto de máxima altura”.</p>		

Comentário:		
✓ A aluna não mobiliza nenhum conceito de energia para explicar o fenômeno da figura.		
Questão mediada (M):		
Questão	Resposta do estudante	Pensamento inferido
Causa do movimento.	“...enfim ele...atua nela uma força que faz com que ela suba.”	- Impulso (conceito-em-ato).
Evolução da velocidade e da altura do corpo.	“...ela vai subindo...é...até o momento em que ela adquire velocidade nula, quando ela chega nessa velocidade nula ela tá na altura máxima de forma que ela começa a descer novamente”	- Altura e velocidade são inversamente proporcionais durante o movimento vertical (teorema-em-ato).
Tradução matemática.		
Simetria no movimento (totalmente mediado através do auxílio do pesquisador).	1) Torricelli:
	2) Representação:
	3) Reescrevendo:
	4) Distribuindo:

	<p>5) Reorganizando, dividindo por 2 e multiplicando por m:</p> $\frac{v_0^2}{2} + \frac{2gh_0}{2} = \frac{v_{0D}^2}{2} + \frac{2gh_D}{2}$ <p>P: “Agora, do jeito que tá essa expressão, do jeito que ela ficou, v quadrado sobre dois mais gh, ela te diz alguma coisa?”.</p> <p>S: “Péra...isso daqui tem cara de cinética e isso daqui tem cara de potencial... é...elas dizem que, enfim, tá conservando a energia...?”.</p>	
Comentário:		
<p>✓ A aluna pouco se referiu ao conceito de energia nessa situação. Durante o ‘desenvolvimento mediado da simetria’, ela não reconheceu o caráter simétrico da equação apresentada nem sua relação com o fenômeno apresentado.</p>		

3.2.1.6.1 Invariantes operatórios utilizados no conjunto das situações apresentadas

1. Invariantes operatórios do tipo [R-R]:

Invariantes Operatórios [R-R]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“Num lançamento vertical ascendente, a velocidade do corpo será nula no ponto de máxima altura”.								U
“Altura e velocidade são inversamente proporcionais durante o movimento vertical”.								U

Tabela 30 - I.O. do tipo [R-R] de Renata.

2. Invariantes operatórios [R-C]:

Invariantes Operatórios [R-C]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva”.	U	U	U		U	U	U	
“ $F_{resultante} = m.a$ ”.			U			U	U	
“No movimento vertical, há transformação de energia cinética em potencial e vice-versa”	U		U					
“Numa colisão inelástica, a energia cinética é dissipada. (teorema-em-ato).”				U				
“ $\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$ ”.				U	U	U		
“Numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada”.					U			

Tabela 31 - I.O. do tipo [R-C] de Renata.

3. Os invariantes operatórios interpretativos [C-C]:

Invariantes Operatórios [C-C]	Situações e formulação dos Invariantes Operatórios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
“ $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$ ”.						U	U	
“ $\oint \vec{F}.d\vec{l} = 0$ ”.							U	

Tabela 32 - I.O. do tipo [C-C] de Renata.

3.2.1.6.2 Conceitos não mobilizados

- A aluna apresentou dificuldades em usar o princípio de conservação da energia na situação 3. Em vez disso, valeu-se da dinâmica newtoniana representada pelo teorema-em-ato “ $F_{resultante} = m.a$ ”. Contudo, numa suposta condição sem atrito, ideal, ela mobilizou, de forma pertinente, o princípio de conservação de energia. Em nosso entendimento, a dificuldade da aluna ocorreu por não mobilizar o conceito de “energia interna” (ou o “pseudo-conceito’ trabalho da força de atrito) para se fazer valer do princípio de conservação da energia.

- A aluna demonstrou muita insegurança, ou falta de iniciativa, nos momentos das explicações espontâneas. Embora reconhecesse os aspectos do real dos elementos e fenômenos apresentados, quase sempre, Renata não tomava iniciativa solicitando maior precisão na questão para, a partir de então, elaborar e/ou externar seu raciocínio.

3.2.1.6.3 Organização das condutas

a. Combinação de invariantes operatórios de maneira explícita

- Dos invariantes operatórios interpretativos ([R-C] e [C-C]) inferidos à partir das respostas da aluna, apenas 6 são do tipo explícito. Desses 6, 4 deles fazem referência à dinâmica newtoniana e apenas 2 referem-se à conservação da energia mecânica. Tal constatação não nos parece indício de pouco domínio do princípio de conservação de energia e, até mesmo, da conservação da energia mecânica.

b. Combinação de invariantes operatórios de maneira implícita

- A conduta da aluna, no que diz respeito aos invariantes operatórios implícitos representa a maioria das inferências realizadas. Ainda assim, do total de 11 inferências implícitas, 8 são inferências fortes (ou distantes).

- Durante a entrevista a aluna demonstrou dificuldade de iniciativa com relação à maioria das questões abertas. Por vezes, questionou o pesquisador para maiores informações do objetivo da questão ou até mesmo o que a situação estava solicitando.

3.2.1.6.4 Controle sobre os aspectos do real

a. Com controle produtivo

- A aluna Renata demonstrou pouco controle produtivo dos invariantes utilizados durante as situações. Destacamos o uso, implícito, do teorema-em-ato “na ausência de forças dissipadas, a energia mecânica é conservada” nas diversas situações.

- Outro invariante utilizado pela aluna foi “no movimento vertical, há transformação de energia cinética em potencial e vice-versa”.

b. Sem controle produtivo

- A aluna mobilizou o conceito-em-ato “lei da ação e reação” sem controle produtivo aparente, assim como os teoremas-em-ato “ $F_{resultante} = m.a$ ” e “ $\Delta \vec{Q}_{sist} = \vec{0}$ ” (estabilizado, mas sem domínio aparente).

3.2.2 Invariantes comuns a todos os estudantes

Os invariantes operatórios foram associados pelos sujeitos, em três sentidos, de acordo com o conjunto de situações propostas e a metodologia adotada. Aqueles que associam um invariante operatório partindo de algum aspecto do real à outro aspecto do real, ou [R-R]; aqueles que associam um invariante operatório indo do real ao conceito, ou [R-C] e; aqueles que associam um invariante operatório indo de um conceito à outro conceito, ou [C-C].

a. Os invariantes operatórios do tipo [R-R] são descritivos. A tabela abaixo resume esses invariantes de acordo com as inferências:

Invariante Operatório (I.O.)	Nº de estudantes que mobilizaram o I.O.
“Velocidade e altura são inversamente proporcionais no movimento vertical”.	4
“A velocidade do corpo ao atingir o ponto de altura máxima,	2

durante o lançamento vertical ascendente é nula”.	
“Num pêndulo, um corpo solto, de determinada altura, numa trajetória fechada atingirá a mesma altura da qual foi solto”.	1
“A força associada à mola é do tipo ‘restauradora’”.	1
“Na ausência de forças dissipativas, a velocidade de um corpo, num mesmo ponto, durante o movimento ascendente e descendente é a mesma”.	1
“As forças atuam aos pares”.	1
“A mola atua como agente motor”.	1
“Eles podem colidir e retornar em sentidos opostos dos iniciais com a mesma velocidade”.	1

Tabela 33 - I.O. [R-R] mobilizados pelos sujeitos.

b. Os invariantes operatórios [R-C] são interpretativos. A tabela abaixo resume esses invariantes de acordo com as inferências:

Invariante Operatório (I.O.)	Nº de estudantes que mobilizaram o I.O.
“Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada”.	6
“ $F_{resultante} = m.a$ ”.	6
“Energia potencial gravitacional é proporcional à altura”.	5
“ $\Delta \vec{Q}_{sistema} = \vec{0}$ ”.	5
“Energia cinética é proporcional à velocidade”.	4
“Numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada”.	4
“Numa colisão inelástica a cinética é totalmente dissipada”.	4
“A variação da quantidade de movimento, num sistema isolado, é conservada”.	1
“A energia potencial elástica é proporcional à variação do comprimento da mola”.	1

$"F_{atrito} = \mu P"$.	1
"A força de atrito não é homogênea em toda superfície de contato".	1
$"E_{mecfinal} = E_{mecinicial}"$.	1
"No movimento vertical, há transformação de energia cinética em potencial e vice-versa".	1

Tabela 34 - I.O. [R-C] mobilizados pelos sujeitos.

c. Os invariantes operatórios interpretativos [C-C] utilizados pelos sujeitos são apresentados na tabela abaixo.

Invariante Operatório (I.O.)	Nº de estudantes que mobilizaram o I.O.
$"E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}"$.	6
$"\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0"$ ⁵⁰ .	5
"A energia mecânica inicial será convertida, parcialmente, em energia mecânica final e calor (atrito)".	4
"Num sistema isolado, a energia total é conservada".	3
$"\Delta U = Q - W"$.	2
"As Energias potencial e cinética são inversamente proporcionais durante o movimento vertical".	1

Tabela 35 - I.O. [C-C] mobilizados pelos sujeitos.

⁵⁰ Embora haja um distanciamento entre esse invariante e as respostas dos sujeitos, entendemos que o conjunto de situações tratadas associadas com as manifestações dos sujeitos durante a entrevista nos permite inferir que os alunos possuem tal invariante, ainda que de maneira inconsciente.

3.2.3 Presença de significado físico

Sujeito	Com controle produtivo			Sem controle produtivo			I.O. C. ⁵¹	IOP/IOT ⁵²	Presença de significado físico
	[R-R]	[R-C]	[C-C]	[R-R]	[R-C]	[C-C]			
Güenther		2			2	4	2	2/8: 25%	Não
Geraldo	2				3	2	0	2/7: 29%	Não
Carolina		3	2		2		0	5/7: 71%	Não
Luiz Antônio	2	6	3		1		5	11/12: 92%	Ocasional
Sálvio	1	8	4				6	13/13: 100%	Sim
Renata					4		0	0/4: 0%	Não

Tabela 36 - Presença de significado físico.

3.2.4 Interpretação dos resultados

Os resultados apresentados nesse estudo aprofundado permite que façamos algumas considerações acerca do processo de apreensão da conservação da energia mecânica, assim como dos conceitos relativos à tal

⁵¹ Invariantes Operatórios Contextualizados (I.O.T.) nas situações.

⁵² Invariantes Operatórios com Controle Produtivo (IOP) e Invariantes Operatórios Totais (IOT).

conservação como a dissipação, sua transformação (ou conversão) para outras modalidades (ou formas) da energia, do teorema trabalho-energia, do conceito de energia interna e até mesmo do princípio de conservação da energia. Além disso, podemos avançar no que diz respeito ao papel da mediação do pesquisador (ou professor) e da linguagem.

Ao iniciarmos o estudo aprofundado, nossas preocupações voltaram-se para dois pontos principais: 1) Analisar com maior rigor a aprendizagem dos conceitos-chaves presentes na literatura, verificados e confirmados no estudo preliminar e; 2) investigar como ocorre a conceitualização da conservação da energia mecânica por parte de sujeitos em diferentes momentos da instrução formal. Essa separação não significa que se trata de dois pontos mutuamente excludentes; pelo contrário. Há aspectos do primeiro ponto que coincidem com aspectos do segundo ponto e vice-versa. Assim, interpretaremos os resultados nessas duas perspectivas podendo, ou não, haver menções necessárias do aspecto de um dos pontos ao lidarmos com outro.

3.2.4.1 Análise do Estudo Preliminar

Uma das intenções colocadas para justificarmos o estudo aprofundado foi a de investigar com maior cuidado as escolhas dos sujeitos com relação aos conceitos-chaves. Entre esses conceitos destacamos o uso recorrente de termos ou ideias que poderiam ser categorizadas como concepções espontâneas, tais como fontes ou movimentos; a dificuldade na articulação de conceitos para justificarem a conservação da energia mecânica e do princípio de conservação da energia; a não mobilização do conceito de trabalho e do teorema trabalho-energia; a não mobilização do conceito de energia interna e a pouca capacidade no reconhecimento das expressões relacionadas à conservação de energia mecânica e do princípio de conservação da energia.

Embora nossos dados preliminares apontassem dificuldades na mobilização e articulação dos conceitos, a condição da mediação, através das entrevistas, entre os sujeitos-em-ação e o pesquisador, possibilitou que inferíssemos acerca da existência de conceitos implícitos presentes nas respostas dos sujeitos; da não mobilização de conceitos centrais para a conceitualização do princípio de conservação da energia; da forte influência

conceitual desempenhada pela dinâmica newtoniana; do vínculo existente entre as representações matemáticas e seus significados, de maneira implícita.

No que diz respeito aos conceitos implícitos presentes nas condutas dos sujeitos, destacamos a existência dos invariantes operatórios, do tipo interpretativo: 1º. “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada”; 2º. “numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada”; 3º. “numa colisão inelástica, a energia cinética é totalmente dissipada” e; 4º. “a energia mecânica inicial será convertida, parcialmente, em energia mecânica final e calor (atrito)”. Esses quatro invariantes operatórios, mobilizados por, pelo menos, quatro dos sujeitos entrevistados, sugerem haver o reconhecimento e a articulação de conceitos envolvendo conservação, dissipação e transformação da energia. Esse resultado emerge da mediação entre o pesquisador e o sujeito-em-ação operando nas 8 situações propostas no estudo aprofundado que, diferentemente do método utilizado no estudo preliminar, possibilitou um direcionamento das construções cognitivas dos sujeitos. Contudo, chamamos atenção para duas ressalvas: a primeira delas no que diz respeito às inferências realizadas sobre as respostas genéricas ou pouco contextualizadas (exceções aos sujeitos Luiz Antônio, que contextualiza suas respostas para a primeira, terceira e a quarta situações; Sálvio, que contextualiza a primeira e segunda situação mencionada acima; Güenther que contextualiza a primeira resposta); a segunda ressalva é o nosso reconhecimento da pouca frequência com que os sujeitos valeram-se desses invariantes nas situações tratadas (enquanto Güenther recorreu, ainda que de forma genérica e implicitamente, ao primeiro invariante operatório mencionado acima em 6 ocasiões, Geraldo recorreu ao mesmo invariante em apenas 2 ocasiões; os sujeitos recorreram aos 3 últimos invariantes em poucas ocasiões – o que já era esperado para as colisões, por haver apenas duas situações).

Com relação ao segundo ponto – a da não mobilização de conceitos centrais para a conceitualização do princípio de conservação de energia –, destaca-se a inexistência da mobilização dos conceitos de energia interna e trabalho (ou teorema trabalho-energia) pelos sujeitos-em-ação. Essa percepção já havia sido notada por nós na análise das respostas no estudo preliminar. Embora a ausência da mobilização dos dois conceitos, seja de

maneira explícita, seja implícita, possa sugerir uma dificuldade dos sujeitos no que diz respeito à sua utilização, de maneira coerente, durante as situações, as limitações das próprias situações e das intenções iniciais não nos permitem fazer nenhuma afirmação com maior veemência. No que diz respeito ao conceito de energia interna, embora tenhamos inferido para dois sujeitos – Luiz Antônio e Sálvio – o uso implícito do conceito de energia interna em situações distintas – Luiz Antônio, situação 4; Sálvio, situação 6 – entendemos que há uma fragilidade no raciocínio adotado pelos sujeitos e, possivelmente, dessa inferência específica. Nesse caso, a colaboração da inferência realizada teria mais a finalidade de chamar a atenção do pesquisador em didática para a investigação de métodos de ensino que auxiliem o sujeito a tomar consciência dos conceitos envolvidos em situações próximas do que a de chamar a atenção para um conceito utilizado de maneira implícita. Esse mesmo raciocínio pode ser estendido para o conceito de trabalho. Contudo, vale lembrar que, aqui, não se trata de afirmações. Para uma investigação mais robusta faz-se necessário uma nova pesquisa privilegiando situações que envolvam, especificamente, os conceitos de energia interna e de trabalho.

Outro ponto que nos chamou atenção foi o recorrente uso de conceitos da dinâmica newtoniana para as várias situações. Durante a ação dos sujeitos, percebemos suas preferências na mobilização e articulação dos conceitos envolvendo a dinâmica newtoniana com a finalidade de responderem as questões propostas. Embora seja possível verificar o uso da dinâmica newtoniana no decorrer das explicações, sua mobilização e articulação tornavam-se mais explícitas ao questionarmos os sujeitos sobre uma possível tradução para o fenômeno investigado; nesse caso, os sujeitos pareciam justificar as condições mecânicas com diagramas de forças, ação e reação entre forças envolvidas e condições de equilíbrio. Em nossa percepção, tal escolha – privilegiar o uso da dinâmica newtoniana em detrimento do uso de conceitos de energia – revela a dificuldade de compreensão do próprio conceito de energia quanto a sua natureza. Há aqui uma distinção epistemológica envolvida na construção e percepção entre dos conceitos da dinâmica newtoniana e da dinâmica da energia: os conceitos da dinâmica newtoniana parecem estar mais próximos do real imediato, ou seja, os

referentes para sua construção estariam mais próximos das experiências cotidianas dos estudantes. Dessa forma, em nosso entendimento, ao privilegiarem a mobilização e articulação da dinâmica newtoniana os alunos estariam “bloqueando” os conceitos de energia pelo fato desses últimos não terem o mesmo apelo ao real que o outro. Contudo, como em toda regra há exceções, destacamos as escolhas do sujeito Sálvio ao privilegiar, em muitas situações, conceitos envolvendo energia mecânica em vez da dinâmica newtoniana.

No que diz respeito ao entendimento das representações matemáticas, destacamos dois invariantes operatórios passíveis de serem explicitados por condições didáticas adequadas. O primeiro invariante operatório diz respeito às considerações dos sujeitos para a dissipação da energia mecânica através do atrito, representado por $E_{mec}^{inicial} = W_{atrito} + E_{mec}^{final}$. De acordo com nossas inferências, esse invariante operatório foi mobilizado por todos os sujeitos durante a ação nas situações sendo mobilizado, de maneira contextualizada, por Luiz Antônio e, de maneira genérica, em 3 oportunidades por Sálvio, em 2 por Renata e Güenther e em 1 oportunidade para os demais sujeitos (incluindo Luiz Antônio, mobilizando-a em duas oportunidades). O fato dos alunos utilizarem, ainda que implicitamente, tal representação pode sugerir um possível caminho para a introdução do conceito de energia interna por pesquisadores de didática, conforme mencionado no parágrafo anterior. O segundo invariante operatório diz respeito à construção da representação matemática do teorema trabalho-energia em que ocorre conservação de energia mecânica, representado por $\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$. Esse invariante pode ser inferido a partir do adequado uso, por parte dos sujeitos, do diagrama de forças na situação envolvendo um caminho fechado – movimento pendular. Embora nenhum aluno tenha manifestado, de maneira explícita, a relação existente entre tal representação matemática e o fenômeno apresentado, os elementos necessários à sua construção (diagramas de força e indicações dos deslocamentos, nas devidas representações vetoriais) se apresentam nas respostas de 5 sujeitos (exceção deve ser feita ao aluno Geraldo), cabendo, mais uma vez, ao investigador em didática prover condições para que o sujeito seja capaz de explicitar tal conhecimento. Vale destacar que, durante o estudo

preliminar, poucos alunos conseguiram explicar o significado dessa expressão na questão 6.

3.2.4.2 Estudo Longitudinal

Uma das mais interessantes considerações feitas ao apresentarmos o estudo preliminar foi a percepção do avanço na mobilização e articulação dos conceitos de acordo com os diferentes momentos que os sujeitos encontravam-se na instrução formal. Sendo assim, estudantes em momentos mais avançados pareciam ter maiores condições cognitivas para o reconhecimento de conceitos pertinentes, comparativamente aos sujeitos em níveis anteriores. Dito isso, poderíamos imaginar que, durante o estudo aprofundado, tal observação fosse confirmada. Assim, entrevistamos dois alunos do Ensino Médio regular (Güenther e Geraldo), uma graduanda em licenciatura, matriculada no sexto período (Carolina), dois graduandos em bacharelado, matriculados no oitavo semestre (Sálvio e Renata) e um com a graduação concluída em licenciatura (Luiz Antônio).

Com relação aos dois alunos do Ensino Médio, percebe-se que ambos recorrem a invariantes operatórios com controle produtivo e invariantes operatórios sem controle produtivo; ou seja, para algumas situações os alunos recorrem a explicações com algum domínio conceitual, ainda que de maneira genérica e, para outras situações, recorrem a explicações sem domínio conceitual. Procuramos analisar com algum rigor, na medida do possível, suas manifestações através da verbalização e das representações de modo a identificarmos quais deles seriam os invariantes produtivos e quais seriam os improdutivos, de acordo com as considerações apresentadas na metodologia⁵³. Assim, por exemplo, consideramos como invariantes produtivos para Güenther o seguinte teorema-em-ato “energia potencial gravitacional é proporcional à altura” e para Geraldo “um corpo solto, de determinada altura, numa trajetória fechada (*looping*) atingirá a mesma altura da qual foi solto”. Para os dois casos os alunos possuem, em seu repertório conceitual, regras sistemáticas que os permitem manter controle dos invariantes operatórios mobilizados de modo que a articulação ocorra respeitando-se regras unívocas (VERGNAUD, 2000, p.

⁵³ Ver subitem 2.2.2.

48). Nesse caso, é possível distinguir os dois tipos de invariantes utilizados no que se refere às relações que estabelecem entre os conceitos; enquanto Güenther vale-se da regra unívoca que estabelece o real “altura” com o conceito “energia potencial”, Geraldo vale-se da regra unívoca estabelecendo o real “altura inicial” ao real “altura atingida no interior do *looping*” para a mesma situação 1 do estudo aprofundado. Essa comparação nos permite perceber a distinção entre as escolhas do produto que torna as explicações possíveis para ambos. Ambos tomam por conceito inicial um real, mas enquanto Güenther consegue articulá-lo com um objeto de pensamento (energia potencial), Geraldo limita-se à articulá-lo com outro objeto real (altura atingida no interior do *looping*).

Com relação aos alunos da graduação em física, seja da licenciatura, seja do bacharelado, destacam-se as capacidades de mobilização e articulação dos invariantes de Renata, Carolina, Luiz Antônio e Sálvio. Pode-se notar que Renata mobiliza 4 invariantes operatórios sem controle produtivo, enquanto Sálvio mobiliza 13 invariantes operatórios com controle produtivo, embora ambos encontrem-se matriculados no oitavo semestre da graduação em bacharelado. Luiz Antônio, já graduado em licenciatura, mobiliza e articula, com controle produtivo, 11 dos 12 invariantes operatórios explicitados durante as situações. Para esses dois [Sálvio e Luiz Antônio] destacamos as articulações realizadas envolvendo invariantes do tipo interpretativo; seja [R-C], seja [C-C]. Também vale destacar os invariantes contextualizados por Sálvio (6 invariantes) e por Luiz Antônio (5 invariantes). A aluna Carolina, matriculada no sexto semestre, recorreu a 5 invariantes do tipo produtivo, descritivos, durante as situações propostas sendo 3 [R-C] e 2 [C-C]. Parece-nos, nesse ponto, indiscutível que alunos da graduação em física, seja da licenciatura, seja do bacharelado, valem-se com maior propriedade de conceitos físicos pertinentes para lidarem com situações que envolvam a conservação da energia, quando comparados com os alunos do Ensino Médio investigado. Há, portanto, durante a formação universitária em física, uma apreensão nesse processo de aquisição e domínio conceitual evidenciado ao analisarmos a qualidade do desenvolvimento produtivo dos sujeitos durante a ação. Sujeitos como Sálvio, Carolina e Luiz Antônio parecem possuir regras de atividades sistemáticas,

sujeitas à regras unívocas estabelecidas pelos conceitos e teoremas apreendidos durante o momento de instrução formal. Contudo, temos que ressaltar a diferença estabelecida entre o controle produtivo dos conceitos realizados por Sálvio, Luiz Antônio, Carolina e, principalmente, Renata. Em nosso entendimento, a diferença entre o controle produtivo e o controle improdutivo estabelecido entre os sujeitos ocorre por forte influência de um obstáculo epistemológico cuja origem localiza-se na dinâmica newtoniana. Durante as análises ficou evidenciado que o uso da dinâmica newtoniana por Renata (e o mesmo vale para os demais sujeitos, à exceção de Sálvio) era utilizada por ser guiada por regras de atividade contingente, validadas por seu uso, durante sua experiência na vida acadêmica e pelo forte apelo que estabelece com o real. Esse mesmo raciocínio, em diferentes graus, pode ser considerado para os demais sujeitos no que se refere aos invariantes utilizados sem controle produtivo.

Conclusões

Tendo como ponto de partida as dificuldades de aprendizagem do conceito de energia, presentes na literatura da área, e sua natureza racional, propusemo-nos a tomar, como objeto central dessa tese, a investigação de como ocorre a conceitualização da conservação da energia mecânica durante a instrução formal. Para isso, consideramos aspectos teóricos e aspectos empíricos que pudessem nos dar indícios para conduzir nossas discussões. Dessa forma, buscamos tratar alguns dos problemas que envolvem a conservação de energia mecânica durante sua construção na História das Ciências, em alguns manuais de ensino universitário e nas pesquisas acerca de sua aprendizagem.

Por estarmos interessados no processo de construção do princípio de conservação de energia, recorreremos a duas perspectivas que nos auxiliassem numa compreensão mais cuidadosa desse processo em nível histórico, portanto, coletivo e altamente sistematizado, e em nível individual, mediado pela instrução formal. A primeira perspectiva assumida foi a filosófica, no que diz respeito às discussões do conceito; a segunda, foi a da psicologia cognitiva, no que diz respeito à conceitualização. É, com restrições, entre um e outro, que podemos inserir os manuais.

Sendo assim, dois problemas emergem: 1) a conservação da energia mecânica no Ensino de Ciências e; 2) o princípio de conservação de energia na História das Ciências. Para a compreensão desses dois problemas elencamos questões levantadas por uma terceira discussão: o problema da noção do conceito na Filosofia e nas Ciências, privilegiando alguns de seus aspectos. Nossa proposta foi, então, a de nos valer da construção do teorema trabalho-energia na História das Ciências e nos manuais de ensino universitário para evidenciarmos as diferentes perspectivas epistemológicas pelas quais o conceito pode ser privilegiado.

Lidar com os conceitos científicos, em qualquer espaço e/ou momento da instrução formal é lidar, antes de qualquer coisa, com as perspectivas tão diversas que a filosofia é capaz de apontar. É plenamente possível, portanto, que se privilegie ou aspectos da natureza do conceito ou aspectos do conceito-

função⁵⁴ ao estabelecermos o quadro conceitual a ser ensinado. Dessa forma, antes de querer ensinar, por exemplo, o quadro conceitual de energia, é interessante uma reflexão acerca de qual perspectiva se deseja privilegiar; por exemplo:

- Enquanto conceito relacional entre outros conceitos e disciplinas?
- Enquanto conceito vinculado às questões sócio-econômicas e ambientais?
- Enquanto sua natureza intrínseca?

Qualquer que seja a perspectiva eleita para apresentar os conceitos, é importante que se assuma, conscientemente, qual delas está sendo privilegiada, sem que haja julgamentos, *a priori*, por juízo de valor. No nosso caso, a perspectiva adotada, nessa tese, foi a da natureza do conceito. Para isso apresentamos, em recorte, a construção história do teorema ‘trabalho-energia’, de L. Carnot e de Lagrange, evidenciando seus diferentes perfis epistemológicos.

No que diz respeito aos manuais de ensino, fizemos uma exposição sucinta dos principais pontos do quadro conceitual do princípio de conservação da energia, com foco na conservação da energia mecânica e demonstramos como o teorema trabalho-energia é construído nos livros. Ao que nos pareceu, em nossa análise, há uma ausência de preocupação, ou desconhecimento, por parte dos escritores de livros, de uma reflexão acerca das diferentes perspectivas do conceito.

Embora o conceito trabalho-energia, de L. Carnot e aquele apresentado nos manuais, possa ser categorizado numa perspectiva de conceito-função, há, ainda assim, um desvio de intenções entre as duas perspectivas associadas ao conceito. É difícil afirmar, categoricamente, a origem desse desvio, mas uma hipótese a ser considerada é a de – ao ser introduzido nos manuais de ensino – ter agregado conceitos que foram desenvolvidos *a posteriori*, distantes do contexto original. Ou seja, o ponto para o qual chamamos atenção é a de que o teorema trabalho-energia foi desenvolvido no contexto da dinâmica

⁵⁴ Tratamos do que seja ‘Conceito-função’ na nota de rodapé 11.

newtoniana, mas ao ser inserido nos manuais de ensino, carregou consigo os novos conceitos, introduzidos posteriormente, da dinâmica do calor.

Não é de se estranhar, portanto, que ao questionar os alunos sobre o que é energia ou trabalho, respondam: “energia é a capacidade de se realizar trabalho”. A nosso ver, uma resposta assim é bastante pertinente! Se, por outro lado, não é essa a resposta que queremos dos alunos, caberia a nós, antes de questioná-los acerca da energia, questionarmos a nós mesmos: O que é energia, afinal?

Aqui, devemos olhar para o real significado do conceito de energia. energia é algo que é e não é! Contudo, isso não pode ser uma resposta aceitável para os professores ou pesquisadores de ensino de ciências. Talvez, uma boa resposta para o que seja energia, é a definição dada por Feynman (2009), por considerar, em seu livro, considerações acerca da existência de uma quantidade cujo valor numérico nunca é alterado, independentemente das transformações que ocorram.

Afirmar que os autores de livros e/ou professores desconhecem a existência de uma simetria quantitativa na natureza, cujo nome é energia, pode ter algum fundamento, mas ao lermos a analogia utilizada em Halliday, Resnick e Walker (2009) para explicar o termo ‘transferência’, percebemos que a definição de energia não lhe é tão desconhecida,

o termo transferência pode ser enganador. Ele não significa que um objeto material entre ou saia do objeto; a transferência não é como um fluxo de água. Ela se parece mais com a transferência eletrônica de dinheiro entre duas contas bancárias: o valor de uma das contas aumenta, enquanto o valor da outra conta diminui. Mas nenhum objeto material é transferido de uma conta para a outra. (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009 , p. 155).

No entanto, a perspectiva adotada em quase todo livro não é essa. Entrar no mérito se o autor conhece ou não conhece a simetria numérica existente no processo não nos interessa nesse momento. Também não devemos desqualificar o manual, afinal, continua formando engenheiros, físicos etc. O ponto para o qual devemos nos atentar é, portanto, o da perspectiva conceitual presente no manual.

A ordem lógica de apresentação dos conceitos, presente nesses manuais de ensino, é a de associar determinada modalidade de energia à temas de energia ou seções específicas. Ou seja, ao tratar de mecânica é introduzido um tópico tratando da energia mecânica; ao tratar da física térmica é introduzido um tópico tratando do calor ou da energia química e, da mesma forma, com a energia nuclear.

Entretanto, se só há sentido em entendermos que o conceito de energia é uma simetria quantitativa entre dois ou mais desses tópicos, torna-se quase contrassenso tentar ‘ensiná-la’ associada a tópicos isolados sem que haja relações entre os demais termos. A única exceção seria a modalidade energia cinética, ainda assim, descontextualizada do princípio de conservação, no sentido amplo.

Usar um tópico apresentando a modalidade energia potencial, ou elétrica, ou mecânica, parece-nos estar mais próximo de uma doutrina acadêmica do que, propriamente, situar o sujeito acerca da perspectiva da natureza do conceito de energia. Tratar o conceito de energia (e sobre energia) é ter preocupação em ensinar um processo e não, simplesmente, um termo. Aqui, concordamos com Barbosa e Borges (2006, p. 185), ao tomarem para si uma citação de Driver e Warrington,

Uma das fontes prováveis de tais dificuldades é que, conforme as pesquisas em ensino de ciências apontam, os estudantes têm hábitos pouco desenvolvidos de pensar acerca de sistemas, eventos e processos (DRIVER e WARRINGTON, 1985). O ensino das ciências em toda a educação básica pouco contribui para promover esses hábitos e o resultado é que os estudantes aprendem a usar rótulos para falar de situações e fórmulas para resolver exercícios, sem entender o significado da energia, desenvolver hábitos de usá-lo na construção de explicações e conseguir desenvolver modelos mais sofisticados acerca do conceito (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 185).

Querer ensinar conservação da energia sem antes ensinar os fenômenos sujeitos à conversão mútua torna o processo de aprendizagem do princípio de conservação da energia sofrível, por sua pouca consistência lógica interna, além, é claro, de estar sujeito a criar ou fortalecer obstáculos didático-epistemológicos tornando ainda mais difícil uma compreensão futura do conceito. A construção do princípio de conservação ocorre, no sentido lógico (cronológico), posteriormente aos processos de conversão.

Coincidentemente, isso vale tanto para a estrutura lógica da construção epistemológica formal do conceito, quanto para a construção epistemológica histórica; e poderia valer para o ensino. Além disso, essa construção formal deve considerar, a observação, por parte do aluno, que se trata de uma conservação quantitativa e não somente qualitativa. Trabalhos como os realizados por Rizaki e Kokkotas (2013) são bastante válidos para que se investigue a pertinência dos materiais instrucionais, mas não acreditamos que sejam eficazes para a aprendizagem do princípio de conservação da energia. Embora as autoras façam um grande esforço para associar o método de ensino numa perspectiva histórico-filosófica do desenvolvimento do conceito, falham ao utilizarem figuras para que os alunos identifiquem as Energias associadas a elas e seus processos de transformação. Nesse mesmo sentido, podemos situar os trabalhos de Barbosa e Borges (2006) e Solbes, Guisasola e Tarín (2009). Em nosso entendimento, trata-se mais de uma ação de doutrina do que de conceitualizar.

Nesse sentido, concordamos com Nordine, Krajcik e Fortus (2011) ao afirmarem que sua pesquisa tem um efeito imediato e um mais a longo termo relacionado ao aprendizado de energia. Também é nesse sentido que Vergnaud parece se referir ao processo de conceitualização pelo qual a Teoria dos Campos Conceituais se interessa:

“Longo prazo” refere-se inevitavelmente a uma perspectiva de desenvolvimento: não é em alguns dias ou em algumas semanas que uma criança adquire uma competência nova ou compreende um conceito novo, mas, sim, ao longo de vários anos de escola e de experiência. É a esse processo que a Teoria dos Campos Conceituais se refere (VERNAUD, 2011, p. 16).

No entanto, essa não é a perspectiva conceitual adotada nas pesquisas de ensino de ciências sobre o quadro conceitual energia, a começar por aquelas sobre concepções espontâneas. Um exemplo disso é a preocupação unívoca de categorizar as respostas dos alunos (TATAR, 2007; BARBOSA e BORGES, 2006), desconsiderando de que forma ocorre a influência das diversas perspectivas conceituais nas respostas. Pode-se afirmar que a perspectiva adotada nos manuais de ensino influenciam as respostas, mas há que se considerar também a perspectiva da mídia (ao tratar da questão da

economia da energia), a das ficções (ao tratar de questões místicas) etc, cada qual com seus objetivos e razões.

Dessa forma, caminhamos na linha de Vygotsky, ao afirmar que a formação de “conceito supra-ordenado que implica (ou implicando) na existência de uma série de conceitos subordinados, e pressupõe também uma hierarquia de conceitos de diferentes níveis de generalidade” (VYGOTSKY, 1995, p. 80). Portanto, e de acordo com esta visão “um conceito só pode submeter-se à consciência e ao controle deliberado quando começa a fazer parte de um sistema” (VYGOTSKY, 1995, p. 80).

Contudo, diferentemente dos conceitos linguísticos ou aqueles estabelecidos através da língua vernácula, os conceitos científicos não somente fazem parte de um sistema, mas são articulados ou participam de um processo de articulação conceitual numa linguagem própria, sujeita a regras da lógica das quais os sujeitos nem sempre estão conscientes na sua plenitude. Sendo assim, algumas características ou propriedades conceituais não lhes são percebidas/captadas, diferentemente do que ocorre, por exemplo, quando se trata de aspectos do conceitos-função, enquanto modelo matemático operacional, precário, por não contemplar, também, sua natureza conceitual.

Autores como Rizak e Kokkotas (2013), Nordine, Krajcik e Fortus (2011), Solbes, Guisasola e Tarín (2009), Pérez-Landazábal (2006) também se afastam da quase exclusiva perspectiva do conceito-função da energia. Destacam a importância de se considerar os ensinamentos de energia como processo e, a fim de comprovar suas teses, elaboram e testam materiais instrucionais. Cada um, a sua maneira, comprova a eficácia dos materiais ao considerar a energia como processo de conservação e degradação.

Entretanto, temos boas razões para desconfiar da verdadeira eficácia de seus materiais. Embora privilegiem, reconhecidamente, o aspecto da natureza do conceito, parece haver incoerência entre suas justificativas e métodos por duas razões principais e, até certo sentido, ingênuas: i. por alguns deles privilegiar o princípio de conservação e da degradação considerando apenas aspectos qualitativos (Solbes, Guisasola e Tarín (2009) e Pérez-Landazábal (2006)) e; ii. por outros (Rizak e Kokkotas (2013), e Papadouris e Constatinou

(2011)) insistirem em, inicialmente, levar seus alunos a nomearem as modalidades de energia para, posteriormente, introduzirem o princípio de conservação e degradação, numa verdadeira inversão na lógica da construção conceitual.

Embora contribuam para apontar dificuldades ou alguma novidade, no sentido de alguma inovação didática, ou no que se refere a materiais e métodos, ou no que se refere ao uso da informática, pouco contribuem efetivamente quando se pensa em energia como uma grandeza numérica que se mantém em processos de conversão. Nesses casos, acreditamos que os trabalhos seriam mais frutíferos se seguissem uma linha que tratasse da identificação dos processos de conversão ou conversibilidade existentes entre fenômenos desconsiderando o conceito de energia, já que a apresentação de muitas das situações propostas pouco invocam tal conceito tal qual ele deveria ser considerado.

Em consonância com tais investigações, valemo-nos da investigação do processo e não do produto 'aprendizagem'. Partindo das dificuldades apontadas na literatura da área e de nossa investigação preliminar, propusemos entrevistas com 6 alunos durante a resolução de tarefas, explorando pontos críticos envolvendo a conservação da energia mecânica.

Diferentemente das intenções dos estudos acerca das concepções espontâneas, nosso interesse estava voltado para a manifestação, em ato, dos conceitos utilizados pelo aluno e não de seus 'erros' ou concepções espontâneas. Ou seja, investigamos os conceitos mobilizados pelos alunos-em-situação. Nesse sentido, alguns dos dados, já conhecidos das pesquisas foram reforçados; enquanto outros, devem ser retomados.

Três desses dados chamam atenção: 1) a existência do quadro conceitual conservação da energia mecânica; 2) o exagero na avaliação das pesquisas de concepções espontâneas ao categorizar como 'erro' o uso de termos como 'força' e; 3) o uso, sem controle produtivo, por parte dos alunos, da dinâmica newtoniana.

O conjunto de situações apresentadas e as inferências realizadas nos permite afirmar que os alunos reconhecem, explicitamente ou não, o princípio de conservação da energia. Mais do que isso, os alunos, de todos os níveis, mostraram-se capazes de identificar não só boa parte dos processos envolvendo a conservação, mas possuem implicitamente, o teorema-em-ato “ $\oint \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$ ”, não reconhecido por eles no estudo exploratório.

Destacamos que, para esse teorema-em-ato, o sujeito sabe que na situação (pêndulo) há energia mecânica, que a modalidade de energia associada àquela situação é mecânica, mas não têm consciência de que relação é estabelecida com os conceitos formalizados cientificamente. No entanto, é muito curioso que consiga identificar com bastante facilidade todos os elementos formais da linguagem científica presentes naquela situação, sem conseguir articulá-los com o conceito formal de maneira consciente.

Para o segundo caso, as inferências realizadas acerca das situações tratadas e o uso de termos como ‘força’ quando o aluno se refere à energia, não significa dizer que a noção ou o conceito não esteja sendo utilizado. O que se percebe é que esse uso indistinto do termo não ocorre apenas ao tratar da energia, mas também ao tratar de impulso e outros conceitos.

Com relação ao uso recorrente, e sem controle produtivo da mecânica newtoniana, nossas observações nos levam a afirmar que o ensino desse quadro conceitual, tal como é hoje, representa um possível obstáculo ao aprendizado de física. Por vezes, o que ocorre é a preferência dos alunos em optarem por explicações da dinâmica newtoniana em detrimento daquelas da conservação da energia.

Seria pretencioso de nossa parte afirmar algo categoricamente a esse respeito, mas podemos levantar uma hipótese. A validação da dinâmica newtoniana, dada através dos inúmeros exercícios e situações, apresentada na instrução formal com aplicações cotidianas exerceria uma forte influência nas concepções espontâneas dos alunos. Isso significa dizer que, embora o sujeito saiba que há distinção entre força, no sentido de ‘força mental’ e no sentido da dinâmica, ele não é capaz de perceber que há uma distinção entre o conceito-

função força e o conceito-função energia, por exemplo, quanto ao uso de um e de outro.

Parece-nos aqui que essa não percepção da ‘necessidade prática’ decorre, também, da ausência de percepção da perspectiva da natureza dos conceitos. É mais fácil recorrer a um conceito validado pelas inúmeras aplicações perceptíveis do cotidiano do que aquele conceito que, ao mesmo tempo, é, não é.

Por fim, merece destaque o uso, por parte dos alunos, do conceito-em-ato para explicar a não conservação da energia mecânica, por exemplo, em situações que envolvem dissipações⁵⁵. Os alunos não percebem, nem mesmo durante a ação, o vínculo desta explicação com a primeira lei da termodinâmica.

Acreditamos que aqui haja um problema na forma como o princípio de conservação da energia chega aos atores diretamente envolvidos com o processo de ensino e aprendizagem. A ausência de vínculo entre a dissipação de energia mecânica e variação de energia interna no sistema dificulta que possam expressar a conservação da energia num sentido mais amplo, em vez de justificar a ‘diminuição de velocidade num plano inclinado devido ao atrito’.

Nesse caso, o ensino trata tal dissipação como trabalho da força de atrito e não como pseudo-trabalho da força de atrito, já que a força de atrito não é uma força na acepção plena da dinâmica newtoniana, como mencionamos na afirmação de Arons (1999).

Finalmente, vale destacar que essa percepção não é fácil, já que, mesmo do ponto de vista histórico, a introdução do conceito de energia interna foi realizada por S. Carnot com o intuito de resolver esse tipo de problema durante as várias conversões realizadas nas máquinas térmicas.

Alguns dos sujeitos investigados (p.ex. Carolina) associam a ‘mola’ das colisões elásticas como agente motor e não como agente numa condição de ‘conversão’. Nesse sentido, associam o papel da mola ao de elemento motor ou, numa linguagem categorizada das concepções espontâneas, como ‘agente

⁵⁵ Ver situação 3 do estudo aprofundado.

causal'. Aqui, portanto, vale ressaltar que o problema não nos parece situar-se somente no aprendizado do princípio de conservação da energia, mas nos elementos que constituem os modelos-abstratos presentes durante os momentos didático-pedagógicos. Sendo assim, haveria um deslocamento do objeto de não entendimento do aprendizado no qual o aluno não compreende a conservação, envolvendo situações elásticas, da conservação da energia e Quantidade de Movimento para os elementos constitutivos das situações.

BIBLIOGRAFIA

ABBAGNANO, N. **Dicionário de Filosofia**. Tradução de Ivone Castilho Benedetti. 5. ed. São Paulo: Martins Fontes Editora Ltda, 2007. 1014p.

ARONS, A. B. Development of energy concepts in introductory physics course. **American Journal of Physics**, Nova Iorque, v. 67, n. 12, p. 1063-1067, 1999.

ARISTÓTELES. **Categorias**. Tradução do grego clássico para o português de José Veríssimo Teixeira da Mata. Goiânia: Editora UFG, 2005. 202p.

ARRUDA, S. M.; VILLANI, A. Mudança Conceitual no Ensino de Ciências. **Cadernos Catarinenses de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 11, n. 2, p. 88-99, 1994.

BACHELARD, G. **A Filosofia do Não**. Trad. Joaquim José Moura Ramos. São Paulo: Abril Cultural, 1978. (Coleção Os Pensadores).

_____. **A Formação do Espírito Científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Tradução Estela dos Santos Abreu. 9ª reimpressão. Rio de Janeiro: Contraponto Editora Ltda, 2011.

BAGHERI-CROSSON, R. **Mobilisation du concept de champ magnétique par des étudiants issus du DEUG <<Sciences de la Matière>>: analyse didactique à partir de la théorie des champs conceptuels**. 2004. 217f. Thèse (Doctorat en didactique des disciplines scientifiques et techniques). Laboratoire d'études des méthodes modernes d'enseignement, Toulouse, Université Toulouse III – Paul Sabatier, 2004.

BARBOSA, J. P. V.; BORGES, A. T. Modelos Iniciais de energia. In: Encontro Nacional em Ensino em Ciências, IV, 2003, Bauru. **Anais do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino em Ciências**. Bauru: Associação Brasileira de Pesquisa em Ensino em Ciências, 2003.

_____. O Entendimento dos Estudantes sobre energia no Início do Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 182-217, 2006.

BOND, T. G.; FOX, C. M. **Applying the Rasch Model: Fundamental Measurement in the Human Sciences**. 2nd. ed. Nova Iorque: Routledge Taylor & Francis Group, 2007. 340p.

BUNGE, M. Energy: Between Physics and Metaphysics. **Science and Education**, Nova Iorque, v. 9, p. 457-461, 2000.

CAYGILL, H. **Dicionário Kant**. Tradução de Álvaro Cabral. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000. 400p.

CAMPOS, A.; RICARDO, E. C. A complexidade do movimento local na Física aristotélica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 3601-1 – 3601-8, 2012.

CARNOT, L. Vis Viva and Machines (Concerning Moving Forces and Vis Viva). In: LINDSAY, Robert Bruce (Org.). **Energy: Historical Development of the Concept**. Tradução para o inglês de R. B. Lindsay. Pennsylvania, 1975. p. 163-164.

CARVALHO, L. O. de; VILLANI, A. Aprendizagem dos Princípios de conservação em Entrevistas Didáticas. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 76-94, 1996.

COLÉGIO PARTHENON. Disponível em
<<http://www.colegioparthenon.com.br/colégio-parthenon/objetivos.html>>.
Acesso em 06 de janeiro de 2014.

CONSTANTINO, C. P.; PAPADOPOULIS, N. Teaching and learning about energy in middle school: an argument for an epistemic approach. **Studies in Science Education**. Londres, v. 48, n. 2, p. 161-186, 2012.

DELEUZE, G. **Para ler Kant**. Tradução Sonia Dantas Pinto Guimarães. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves Editora S.A., 1976. 100 p. (Série Para Ler).

DRIVER, R. **The representation of conceptual frameworks in young adolescent science students**. 1973. Tese (Doutorado). Illinois, Universidade de Illinois, 1973.

_____; WARRINGTON, L. Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. **Physics Education**, Bristol: IOP Science, v. 20, n. 4, p. 171-176, 1985.

DUGAS, R. **A History of Mechanics**. Tradução para o inglês de J. R. Maddon. Nova Iorque: General Books Company, Inc. 1988. 688p.

_____; COSTABEL, P. A Organização da mecânica Clássica. In: TATON, René (Org.). **História Geral das Ciências: A Ciência Moderna**. 4 vols. Tradução de Gita Ghinzberg. São Paulo, 1960. p. 46-56.

DUNNELL, R C. **Classificação em Arqueologia**. Tradução Astolfo G. M. Araujo. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2007. 260p.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Leituras de Física de Feynman**. (vol. 1). Reimpressão. Tradução de Adriana Válio Roque da Silva. Porto Alegre: Bookman, 2009.

FRANCELIN, M. M. **Ordem dos conceitos na Organização da Informação e do Conhecimento**. 2010. 220 f. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) – Escola de Comunicações e Artes, São Paulo, Universidade de São Paulo, 2010.

FRANCHI, A. Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In: **Educação Matemática** (org. Silvia Dias Alcântara Machado). 3ª. Ed. EDUC. São Paulo, 2010, 254p.

GRANGER, G.-G. O Formal e o Transcendental na Matemática. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 4, n. 10, p. 151-158, 1990.

_____. **Formes, Opérations et Objets**. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 1994a. 402p.

_____. **A Ciência e as Ciências**. São Paulo: Ed. Unesp, 1994b. 122p.

GLOCK, H-J. **Dicionário Wittgenstein**. Trad. Helena Martins. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1998, 398p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. (vol. 1). Trad. de Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 349p.

LLANCAQUEO HENRIQUEZ, A.; JIMÉNEZ-GALLARDO, C.; DIAZ-PINTO, W., L. Aprendizaje de los conceptos de fuerza y energía em estudiantes de ingeniería: um estúdio exploratório. **Revista Electrónica de Investigación em Educación em Ciencias**. [s.l.], v. 8, n. 1, p. 14-23, 2013.

INWOOD, M. **Dicionário Hegel**. Tradução Álvaro Cabral. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1997. 364p.

JACQUES, V.; ALVES FILHO, J. de P. O conceito de energia: Os Livros Didáticos e as Concepções Alternativas. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, XI, 2008, Curitiba. **Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2008.

JAPIASSÚ, H. **Para ler Bachelard**. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves, 1976. (Série Para Ler)

JEWETT Jr., J. W. Energy and the Confused Student I: Work. **The Physics Teacher**, District of Columbia: American Association of Physics Teacher, v. 46, n. 1, p. 38-43, 2008a.

_____. Energy and the Confused Student II: Systems. **The Physics Teacher**, District of Columbia: American Association of Physics Teacher, v. 46, n. 2, p. 81-86, 2008b.

_____. Energy and the Confused Student III: Language. **The Physics Teacher**, District of Columbia: American Association of Physics Teacher, v.46, n.3, p. 149-153, 2008c.

_____. Energy and the Confused Student IV: A Global Approach to Energy. **The Physics Teacher**, District of Columbia: American Association of Physics Teacher, v. 46, n. 4, p. 210-217, 2008d.

KANT, I. **Crítica da Razão Pura**. Trad. de Lucimar A. Coghi Anselmi e Fulvio Lubisco. São Paulo: Martin Claret, 2009. 636p.

KIPNIS, N. Early thermodynamics and conservation of energy. In: International History, Philosophy and Science Teaching Group, 13, 2013, Pittsburgh: pp. 1-13. Disponível em: <<http://archive.ihpst.net/2013/Procs/Kipnis.pdf>>. Acesso em 16 dez. 2013.

KITTEL, C.; KNIGHT, W.; RUDERMAN, M. A. **Curso de Física de Berkeley**. (vol. 1). Trad. de José Goldemberg e Wiktor Wajtal. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1970.

KOPONEN, I.; PEHKONEN, M. Coherent Knowledge Structures of Physics Represented as Concept Networks in Teacher Education. **Science and Education**. Nova Iorque, v. 19, n.3, p. 259-282, 2010.

KUHN, T. S. **A Tensão Essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica**. Trad. de Marcelo Amaral Penna-Forte. São Paulo: Editora Unesp, 2011. 405p.

LAGRANGE, J. L. **Mécanique Analytique**. Paris: Mme. Courcier, Imprimeur-Libraire pour les Mathématiques, 1811. In: Elektronische Bibliothek Schweiz: <<http://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-20099>> . Acesso em 17/12/2013.

LEE, H.-S.; LIU, O. L. Assessing Learning Progression of Energy Concepts Across Middle School Grades: The knowledge Integration Perspective. **Science Education**, Nova Jersey, v. 94, n. 4, p. 665-688, 2010.

LINDSAY, R. B. **Energy: Historical Development of the Concept**. Pennsylvania: Dowden Hutchinson & Ross, Inc. Halsted Press, 1975.

LÓPEZ, V.; PINTÓ, R. Hot brakes and energy-related concepts: is energy lost? **Physics Education**, Bristol: IOP Science, v. 47, n.1, p. 38-43, 2012.

MARTINS, R. A. A Relação Massa-energia e a energia potencial. **Cadernos Catarinenses de Ensino de Física**. Florianópolis, v. 6 (número especial), p. 56-80, junho, 1989.

MORA, J. F. **Dicionário de Filosofia**. 4 vols. São Paulo: Edições Loyola, 2001.

MOREIRA, M. A. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Física e a Pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 7-29, 2002.

NORDINE, J.; KRAJCIK, J.; FORTUS, D. Transforming Energy Instruction in Middle School to Support Integrated Understanding and Future Learning. **Science Education**, Nova Jersey, v. 95, n. 4, p. 670-699, 2011.

NUSSENZVEIG, H. M. **Física Básica 1 – Mecânica**. 4ª. edição, 7ª. reimpressão. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2010.

OHLSSON, S. Resubsumption: A Possible Mechanism for Conceptual Change and Belief Revision. **Educational Psychologist**, Londres, v. 44, n. 1, p. 20-40, 2009a.

_____. Meaning Change, Multiple Routes, and the Role of Differentiation in Conceptual Change: Alternatives to Resubsumption? **Educational Psychologist**, Londres, v. 44, n. 1, p. 64-71, 2009b.

OLIVEIRA, M. K. de. Vygotsky e o Processo de Formação de conceitos. In: TAILLE, Yves de la (Org.). **Piaget, Vygotsky, Wallon: teorias psicogenéticas em discussão**. São Paulo: Summus Editorial, 1992. p. 23-34.

PAPADOURIS, N.; CONSTANTINO, C. P. A Philosophically Teaching Informed Teaching Proposal on the Topic of Energy for Students Aged 11-14. **Science and Education**. Nova Iorque, v. 20, p. 961-979, 2011.

PÉREZ-LANDEZÁBAL, M^a C.; VARELA-NETO, M^a P. Una Propuesta Para Desarrollar en el Alumno de Secundaria una Visión Unificada de la Física a Partir de la Energía. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 237-250, 2006.

PLAISANCE, É.; VERGNAUD, G. **As Ciências da Educação**. Tradução de Nadyr S. Penteado e Odila A. Queiroz. São Paulo, Edições Loyola, 2003. 146 p.

RIZAKI, A.; KOKKOTAS, P. The Use of History and Philosophy of Science as a Core for a Socioconstructivist Teaching Approach of the Concept of Energy in

Primary Education. **Science and Education**, Nova Iorque, v. 22, p. 1141-1165, 2013.

ROSS, D. **Aristóteles**. Trad. Portuguesa de Luís Filipe Bragança S. S. Teixeira. Lisboa: Publicações Dom Quixote Ltda, 1987.

SAGLAM-ARSLAN, A. Cross-Grade Comparison of Students' Understanding of Energy Concepts. **Journal of Science Education and Technology**, Nova Iorque: Springer, v. 19, n. 3, p. 303-313, 2010.

_____; KURNAZ, M. A. Prospective physics teachers' level of understanding energy, power and force concepts. In: Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching, 10, 2009, Hong Kong. **Anais de Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**. Hong Kong: 2009.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Educação. Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas. **Rede São Paulo de Formação Docente: A Ciência Contemporânea e a Noção de Modelo: Ensino Fundamental e Médio: São Paulo**, 2011.

SARTON, G. The Discovery of the Law of Conservation of Energy. **Isis**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 18-44, 1929.

SOLBES, J; GUIASOLA, J.; TARÍN, F. Teaching Energy Conservation as a Unifying Principle in Physics. **Journal of Science Education and Technology**, Nova Iorque, v. 18, p. 265-274, 2009.

TATAR, E.; OKTAY, M. Students' Misunderstandings about the Energy Conservation Principle: A General View to Studies in Literature. **International Journal of Environmental & Science Education**, [s.l.], v. 2, n. 3, p. 79-81, 2007.

TIPLER, P.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros**. (vol. 1) 6ª. edição. Trad. de Paulo Machado Mors. São Paulo: Editora LTC, 2009.

TREAGUST, D. F.; DUIT, R. Conceptual Change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. **Cultural Studies of Science Education**, Nova Iorque, v. 3, p. 297-328, 2008.

VERGNAUD, G. Invariants quantitatifs, qualitatifs et relationnels. **Bulletin de psychologie**. In: Hommage à Jean Piaget. Paris: v.327, [s.n.], p. 387-389, 1976-1977.

_____. Concepts et schémas dans une théorie opératoire de la représentation. **Psychologie Française**. Paris: v. 30, [s.n.], p. 245-252, 1985.

_____. Difficultés conceptuelles, erreurs didactiques et vrais obstacles épistémologiques dans l'apprentissage des mathématiques. In: Nadine Bednarz et Catherine Garnier (org.). **Construction des savoirs: obstacles & conflits**. Colloque international: obstacle épistémologique et conflit socio-cognitif. Ed. Agence d'Arc inc: Montréal. 1989. Tradução de Mércles Thadeu Moretti (trad. não publicada).

_____. Catégories logiques et invariants opératoires. **Archives de Psychologie**, Genève: v. 58, n. 225, p. 145-149, 1990.

_____. A Teoria dos Campos Conceituais. **Recherches em Didactique des Mathématiques**, Grenoble, v.10, n.2, 3, p.133-170, 1990. Tradução de Mércles Thadeu Moretti (tradução não publicada).

_____. Langage et pensée dans l'apprentissage des mathématiques. **Revue Française de Pédagogie**, Lyon, v. 79, n. 96, p. 79-86, 1991.

_____. Raisonnement et Conceptualisation. **Le Courrier du CNRS**. [s.l.]. n.79, p. 39, 1992.

_____. A Teoria dos Campos Conceituais. In: NASSER, L. (Ed.). Seminário Internacional de Educação Matemática, I, 1993, Rio de Janeiro, **Anais do Seminário Internacional de Educação Matemática**, p. 1-26, 2008.

_____. Homomorphismes, réel-représentation et signifié-signifiant (Exemples en mathématiques). **Didaskalia**, Paris: [s.v.], n. 5, p. 25-34, 1994. Transcrição de Philippe Prévost.

_____. De Revault d'Alloues à une théorie du schéma aujourd'hui. **Psychologie Française**, Paris: [s.v.], n. 45-1, p. 35-50, 2000.

_____. ¿En qué sentido la Teoría dos Campos Conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo? **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 285-302, 2007.

VIENNOT, L. **Le raisonnement spontané em dynamique élémentaire**. Paris: Herman, 1979. 220p.

VIGGIANO, E.; MOURA, B. A. Uma proposta de categorias de abordagem conceito de “energia” nos conteúdos de Mecânica de livros didáticos entre 1904 e 1945. In: Encontro Nacional em Pesquisa em Ensino de Ciências, IX, 2013, Águas de Lindóia. **Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino em Ciências**. Águas de Lindóia, 2013.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. 1ª ed. 5ª reimp. Trad. de Jeferson Luiz Camargo. São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora, 1995. 194p.

WEIL-BARAIS, A. **L’homme cognitif**. Paris: Presses Universitaires de France, 1994. 624p.

WILSON, J. **Pensar com conceitos**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2005. 184p.

ANEXOS

Anexo A – Respostas do Estudo Preliminar (completo)

Questão 1:

Ensino Médio (Colégio Parthenon)

1. **energia é tudo aquilo que modifica a matéria.** As modalidades de energia que conhece são: energia elétrica, magnética, mecânica, potencial, cinética. Sim, por exemplo, a energia potencial somada a energia cinética resulta na energia mecânica, além disso há a relação entre energia magnética e elétrica (*status 3*). O trabalho é a força multiplicada a distância ($\tau=F.d$)
2. **energia é a capacidade que cada corpo tem de interagir com outros corpos.** As modalidades de energia que eu conheço são mecânica, elétrica, sonora, térmica. As quais estão inteiramente ligadas, porque não há como energia “sumir”, ela apenas se transforma em outro tipo (*status 3*). trabalho é a força que um corpo exerce num espaço determinado.
3. **energia é tudo aquilo que modifica a matéria.** energia potencial, energia cinética, energia elétrica, energia térmica. Esses tipos se relacionam pela unidade de medida (j) e por todas modificarem de alguma maneira a matéria em que se aplicam (*status 2*). trabalho é o “esforço” necessário para empurrar um corpo até certa distância, expandir um gás até certo volume, etc.
4. **energia é tudo que modifica a matéria.** As modalidades de energia que eu conheço são: energia potencial, mecânica, elétrica, térmica e magnética. Sim, todas modificam a matéria de alguma forma (*status 2*). trabalho é o esforço necessário para mover certo objeto a uma determinada distância.
5. **energia é a capacidade de realizar trabalho**, ela não pode ser criada ou destruída apenas transformada. Existe, pelo que lembro, energia mecânica, elétrica, elástica, cinética e há relações entre elas (*status 3*). trabalho é a realização de movimento que apenas é possível devido a energia.
6. (*status 0*)
7. **A energia é um potencial acumulado pelo corpo que pode ser usado para produzir movimento.** Conheço energia mecânica (potencial e cinética), elétrica, térmica, eólica. Há relação entre as unidades de medida e as suas funções (*status 2*). trabalho é a força aplicada em um corpo, para movê-lo uma determinada distância.

8. **energia seria um aglomerado de partículas capaz de passar calor.** energia cinética, potencial, gravitacional (*status 2*). trabalho é a quantidade de energia gasta para efetuar alguma ação física.
9. **energia é uma força para que seja realizado um trabalho.** As modalidades de energia que eu conheço são energia mecânica, elétrica. Existe relação entre as energias (*status 2*). E trabalho é a ação necessária para se realizar algo.
10. **Não consigo definir energia**, embora estudemos no ensino médio algumas modalidades como energia mecânica, energia potencial, energia elétrica, energia térmica, energia luminosa, entre outras. Elas se relacionam pelo fato de todas gerarem uma força atuante no meio (calor, gravidade etc.) (*status 2*) e também trabalho, que pode ser definido pela quantidade de força que é necessário para gerar algum deslocamento (determinado)
11. **A energia é um estado de acúmulo de força nos átomos de determinada coisa, sendo que essa força tem a tendência de se dissipar e de ser transmitida entre diferentes corpos.** Existe energia mecânica, potencial, cinética, elétrica e magnética. Certas modalidades de energia tem relação entre si, como a elétrica com a magnética ou a potencial com a cinética (*status 2*). trabalho é o nome dado à variação de energia em um corpo dentro de um intervalo de tempo, como por exemplo, o cálculo do trabalho em uma máquina térmica.
12. **energia é aquilo que modifica a matéria.** Conheço a energia cinética, energia potencial e energia térmica. Elas se relacionam quanto a unidade de medida (j) (*status 2*). trabalho é um movimento ou tendência de movimento que o corpo tende a realizar através da aplicação de uma força ao longo de uma distância, medida em joules.
13. **energia é tudo o que modifica a matéria**, sendo as mais conhecidas como elétrica, mecânica, potencial, cinética. Uma relação é a soma das energias cinética mais a potencial, resultando na mecânica (*status 2*). Já o trabalho se dá pela multiplicação entre a força e a distância.
14. **energia é a capacidade de realizar trabalho, conheço energia mecânica, elétrica, potencial, cinética e elástica por exemplo.** Existem relações, por exemplo uma partícula eletrizada pode apresentar velocidade

- (*status* 2). trabalho é a consequência provocada pela capacidade energética, é a força multiplicada pela distância.
15. **Não sei.** energia mecânica, elétrica, térmica, potencial, cinética etc. E elas se transformam (*status* 3). trabalho é a força realizada em algo.
16. **Eu defino energia como aquela que não pode ser criada nem destruída, existe na presença de uma massa.** energia é tudo aquilo que modifica uma massa. Exemplos de energia são energia cinética, energia potencial, energia elétrica (*status* 3). trabalho depende da força aplicada por um corpo ao longo de uma distância.
17. **Algo necessário para o movimento de determinado espaço.** energia mecânica, elétrica e térmica (*status* 2). trabalho é a quantidade de energia usada em determinada espaço de tempo.
18. **A energia é qualquer forma de alteração do meio.** Ela está presente em diversas situações. energia mecânica, elétrica, cinética, térmica, nuclear. Sim, uma pode ocasionar a outra (*status* 2). trabalho é uma força aplicada em determinado espaço. Há por exemplo uma máquina térmica que realiza trabalho, e haverá sempre um déficit com o gasto e o produzido pois a energia se dissipa no meio.
19. **energia é uma grandeza física que permite que um corpo realize trabalho.** Existem diversos tipos de energia, como energia cinética, potencial gravitacional, térmica etc, os quais podem ser realizados, por exemplo: a energia cinética pode ser convertida em energia térmica (*status* 2).
20. **energia é o estímulo, a capacidade para produzir o movimento esperado.** Existem diversos tipos de energia, como a mecânica, a elétrica, elástica, etc. Existe uma relação entre todas, que é justamente o produto final, o movimento (*status* 2). trabalho é empregado nesse movimento, a força gerada, que o modifica.
21. **energia é algo capaz de movimentar um corpo.** Energias mecânica, potencial, elétrica, elástica, cinética (*status* 2). trabalho é a força necessária para mover um corpo por um determinado tempo.
22. **energia é a “inspiração” para ocorrência de alguns fenômenos, e pode ser gerada de diversas formas, ora por movimentação de partículas, ora por ação de alguma força causando outros diversos tipos de**

reação. Algumas modalidades de energia são: a potencial, a cinética ou a elétrica. Todas essas, de certa forma se relacionam, ou por agirem concomitantemente ou por exercerem a mesma função (*status 2*). trabalho pode ser considerada a variação de energia responsável por algum fenômeno.

23. **O conceito de energia pode ser entendido como uma propriedade que se adquire à determinadas situações.** Exemplos são: energia hidrelétrica, energia eólica, energia potencial (*status 2*). trabalho pode ser definido como a força que se aplica em algo, relacionada a potência dessa força e o tempo em que é aplicada.
24. **energia é tudo aquilo que modifica matéria.** Sim, todas elas, quando ocorrem provocam algo na matéria (*status 1*). trabalho para mim a resultante da energia que age sobre um corpo.
25. **Consequência de uma variação de potencial.** Mecânica, elétrica, cinética, estática e térmica. Sim, todas são causadas por fenômenos físicos (*status 2*). trabalho é o que gera energia.
26. **energia está em tudo, ela nunca se perde, ela se transforma.** Temos energia cinética, mecânica, elétrica, térmica. A energia tem relação com a vibração das moléculas, que definem o estado físico das coisas (*status 3*). trabalho: não sei. energia é tudo!
27. **Eu defino energia como :** (*status 1*).
28. **A energia seria tudo o que gera alguma reação em algo,** as modalidades que eu conheço são a energia mecânica, energia elétrica (*status 2*)
29. **A energia é toda aquela que gera trabalho.** As modalidades de energia são mecânica, elétrica, termodinâmica, onde há uma relação entre elas (*status 2*).
30. **A energia é formada por ondas que são responsáveis pela movimentação de corpos no nível macro e microcelular.** Há energia potencial e elástica. Todas as formas de energia possuem uma fonte que emite ondas (*status 1*). O trabalho é o que forma energia, ou seja, ela é o resultado da força em um determinado espaço que em função de mudança há a formação de energia.

31. **energia é tudo que altera a matéria em seu estado material.** energia mecânica, elétrica, térmica e magnética. Existe relação entre as energias (*status 2*). trabalho é a utilização de energia por um determinado tempo.
32. **energia é definida por tudo que realiza movimento ou trabalho.** As modalidades conhecidas são energia termoeletrica, mecânica, elétrica etc. Há relação entre as modalidades porque e alguns fenômenos físicos elas agem em conjunto para a realização desse (*status 2*). trabalho é a energia liberada por um sistema.
33. **energia é tudo aquilo que provoca mudança.** Agitação em um sistema. As modalidades de energia que eu conheço são a energia mecânica, energia elétrica. Uma energia pode ocorrer devido a ação da outra (*status 2*). O trabalho é a quantidade de calor liberada por um sistema.
34. **energia é o “transporte” de calor de energia por exemplo.** Existe uma relação entre as modalidades, pois uma pode se transformar em outra (*status 2*). O trabalho é a quantidade de energia necessária para que ocorra a modalidade.
35. **energia é todo tipo de movimento que provoca mudanças.** energia elétrica, mecânica, de ativação, térmica. Todos os tipos de energia envolvem mudança na agitação molecular (*status 2*). trabalho é a força necessária para provocar algum tipo de energia, que varia conforme a distância.
36. **energia é a liberação de energia que ocorre quando duas partículas se chocam.** cinética, mecânica, elétrica,... (*status 2*).
37. **energia é a liberação de ondas que são liberados pelo choque entre objetos (desde o choque entre átomos ao choque entre automóveis, por exemplo).** As modalidades de energia são a mecânica, elétrica e termodinâmica que podem ser relacionadas pois todas relacionam a liberação de energia (*status 2*). trabalho pode ser definido pela capacidade de realizar movimento em um determinado período.
38. **energia é o valor necessário para fazer algo se mexer, ou andar,** existem energia cinética, potencial, elétrica, mecânica. Sim, por se relacionar todas (*status 2*). trabalho é a energia que uma máquina usa para seu funcionamento.

39. **energia é tudo aquilo que já passagem de carga positiva e negativa além de ser aquilo que dá vida a um objeto ou ser.** As modalidades são energia térmica, energia elétrica... Há sim uma relação entre elas tratando todas ter a mesma base (energia) (*status 2*). trabalho
40. **energia é algo que dá movimento e agitação para algum corpo, essa energia faz com que ocorra o movimento do corpo,** as modalidades de energia conhecidas por mim são, eletrostática, mecânica, elétrica entre outros (*status 2*). trabalho é a potência dividida pelo tempo necessária, para que ocorra algum movimento.
41. **energia é tudo capaz de provocar movimento ou reação num objeto ou numa partícula qualquer.** Tipos: energia mecânica, elétrica, potencial, havendo certa relação entre elas (*status 2*). trabalho é como uma “força” que representa quantidade de energia produzida ou gasta durante algum processo.
42. **energia é tudo que provoca movimento, agitação,** corrente de elétrons, energia mecânica e energia elétrica, energia potencial, há relação pois todas acarretam algum movimento (*status 2*). trabalho é aquilo que possui relação entre duas constantes, tipo pressão, volume.
43. **energia é tudo que provoca movimento e agitação das moléculas. Um carro parado não se movimenta se não tiver uma força sobre ele.** A energia movimenta o carro, com a agitação das moléculas. Conheço energia mecânica, elétrica, potencial, cinética, etc. Há relação entre as modalidades (*status 2*). trabalho é o movimento feito pelo objeto. trabalho é o movimento, o objeto não está parado, ele exerceu trabalho.
44. **Tudo capaz de provocar uma mudança no estado de determinado objeto é definido como energia.** São exemplos de modalidades de energia: gravitacional, cinética etc. Tais modalidades se relacionam, pois um tipo de energia é capaz de se transformar em outro. (*status 3*)
45. **Uma espécie de potência que age em diferentes meios e organismos, que provocam movimento, mutações de diferentes maneiras e intensidades.** energia cinética, potencial, gravitacional, trabalho, calor (*status 2*). trabalho é o potencial energético, a quantidade de energia usada.
46. **energia é tudo que promove o movimento, seja de objetos, moléculas, corrente elétrica.** Todos os tipos de energia estão ligados entre sim, pois

uma promove a outra (*status 1*); trabalho seria o quanto de movimento que a energia pode gerar.

47. **energia é um movimento de partículas e assim essa energia gerada é utilizada para diferentes objetivos.** Conheço a energia mecânica e elétrica, sim existe uma relação, pois trabalham com o mesmo objeto de estudo a energia (*status 1*). O trabalho é tudo que uma força aplicada pode realizar.
48. **energia está presente em tudo aquilo que possui massa e é ela que faz esse corpo ter movimento.** As modalidades de energia que conheço são a mecânica, elétrica e cinética, e elas se relacionam com interdependência (*status 1*). trabalho é a variação de energia que existe em um corpo antes e depois da ação deste.
49. **energia é tudo aquilo que provoca movimento ou agitação de moléculas.** energia mecânica, elétrica, potencial. Ambas apresentam agitação de moléculas, que podem gerar o movimento, a eletricidade, etc (*status 1*). trabalho é a energia dividida pela potência, ou seja, a energia gerada em determinado potencial.
50. **energia é algo gera movimento e pode gerar calor.** Conheço a energia elétrica e mecânica. Sim, há uma relação entre elas, pois, a corrente elétrica gera uma movimentação de partículas podendo ocorrer o movimento (*status 1*).
51. **energia é tudo aquilo que se movimenta.** As modalidades que eu conheço são: energia mecânica, elétrica, potencial, cinética. Sim, tem relação entre a energia potencial e a cinética, por exemplo (*status 2*). trabalho, pode ser a variação da energia cinética, potência sobre a variação do tempo, etc.
52. **energia é tudo que promove uma corrente de elétrons.** Tenho conhecimento da energia mecânica, elétrica, potencial e magnética. E há uma relação entre elas (*status 1*), e o trabalho seria a variação de energia gasta.
53. **energia é tudo que provoca um movimento ou qualquer tipo de trabalho.** As modalidades de energia se relacionam ao passo em que ambas falam e discutem a teoria de força, movimento entre outros critérios (*status 1*). trabalho é o processo realizado por um objeto.

54. energia é tudo que se dá após a agitação de um corpo e seus átomos.

Existem muitos tipo de energia, a mecânica, potencial, cinética, etc (*status*
2). trabalho é toda energia utilizada por um corpo durante um movimento.

Fundamentos de Mecânica (noturno)

1. **Mecânica, Elétrica** (*status 1*)
2. **Defino energia como sendo uma força/tempo**, conheço energia mecânica, elétrica, térmica entre outras. Sim, existe uma relação entre tais modalidades, alterando apenas o tipo de força (*status 2*). trabalho é a força (qualquer) multiplicada pelo deslocamento.
3. **energia é trabalho em algum meio(s)**. A relação é apenas no conceito. Eu conheço a energia mecânica, por exemplo a transferência de energia entre um corpo e outro. O meio pode ser o ar e mais (*status 2*)
4. **energia não é definida, mas considero como realização de trabalho**. Sim, energia mecânica (*status 1*). trabalho é a matéria em movimento.
5. **energia é a força de mudança da matéria**. Tipos de energia: mecânica, nuclear, elétrica, calórica, sonora, química, bioquímica, luz. Toda energia não pode ser criada ou destruída, apenas propagada e transformada (*status 3*). trabalho é gasto de energia, quanto mais energia gasta, mais trabalho.
6. **A energia é abstrata. Não podemos ver, provar ou sentir**. A maior parte das formas de energia, ou talvez, algo que pode ser transformado em calor. Há relação entre elas sim (*status 1*).
7. **energia mecânica**. A relação entre as modalidades é que no conceito de energia através da energia mecânica você gera energia elétrica (*status 1*)
8. **Mecânica, elétrica**. Existe relação entre as duas já que **fora** (ilegível) ocorrer a energia mecânica vai liberar energia térmica e **pode gerar trabalho** (*status 2*). trabalho é o deslocamento de uma determinada massa.
9. **Não consigo definir**. energia mecânica, elétrica, potencial, potencial gravitacional. Sim, dependendo o caso a energia é a mesma (*status 2*). trabalho é uma medida de energia.
10. **Quando dois corpos interagem entre si, há troca de energia quando há produção de trabalho, há produção de energia**. Então energia é a produção de força a partir de movimentação de moléculas. A mecânica envolve a estrutura integral do corpo, e a elétrica a estrutura quântica (passagem de elétrons). A relação é a dinâmica existente (*status 1*). trabalho é o excesso de energia que o corpo produz para executar determinada ação.

11. **energia é tudo que possui trabalho.** energia solar, energia eólica. Sim todas estão ligadas ao movimento dos corpos (*status 1*)
12. **É a quantidade de agitação das partículas, corpos, etc.** energia mecânica (cinética, potencial), elétrica, calor – sim (*status 2*). trabalho é a força necessária para movimentar o corpo de um lugar ao outro.
13. **Qualquer manifestação que altere uma situação inerte, ou em equilíbrio com o meio.** A energia mecânica é específica na alteração do movimento, o movimento de ímãs provoca alteração no campo uniforme deles, a movimentação (alteração do campo magnético) gera movimentação no estado dos elétrons, o resultado em nosso corpo é o choque, todo esse movimento gera choque, que resulta em calor e etc. (*status 1*)
14. **energia é um acúmulo de movimento ou Calorias que podem transformá-las em várias fontes diferentes como a mecânica, elétrica, etc. É importante sabermos manipular tais fontes para usá-las corretamente e sem desperdício** (*status 2*)
15. **Tudo que altera o estado de movimento. Sim a relação de energia está presente em todos os fenômenos físicos. Por exemplo o corpo pode ter uma energia cinética raspar em uma superfície e fornecer energia para os elétrons** (*status 1*). trabalho é a energia sendo atuada ao longo de uma distância onde os vetores de campo estão direcionados.
16. **energia é a capacidade que um corpo tem de realizar trabalho.** Exemplos de modalidades de energia: mecânica, elétrica, sonora, etc. A relação que há entre elas é que uma pode ser convertida na outra através da realização de trabalho. (*status 3*)
O trabalho é a realização de uma ação sobre um sistema (e.g. ação de uma força) de modo que haja a variação de energia nesse sistema. Isto permite concluir que energia e trabalho estão intimamente relacionados.

Corpos Rígidos e Fluídos (diurno)

1. **energia é uma grandeza que está relacionada à diferentes características.** Existe várias modalidades de energia: mecânica, elétrica, etc (*status 2*). trabalho é uma relação entre força e deslocamento.
2. **Como sendo ente gerador de trabalho** (*status 1*)
3. **É a capacidade de realizar trabalho.** Mecânica, elétrica, potencial, cinética, eólica, etc. Sim todas as formas de energia se equivalem (*status 2*)
4. **energia é uma quantidade associada ao corpo, que se relaciona a seu estado ou potencial, de movimento ou interação com outros corpos.** Existe a energia mecânica, elétrica e a energia relacionada à massa. Considerando um sistema em que a energia se conserva, há diversas transformações, o que faz com que, de alguma maneira, essas modalidades se relacionam (*status 3*). trabalho é a quantidade de energia que deve ser aplicada em um sistema para alterá-lo de determinada maneira.
5. **A energia não possui uma definição formal. No entanto, sabemos que é uma quantidade conservada na natureza.** Manifesta-se sobre várias modalidades como: potencial (gravitacional, elástica), cinética (translacional e rotacional), calor, som e etc. (*status 3*). O trabalho é uma manifestação da energia através de um deslocamento de algo presente em um sistema.
6. **energia é a capacidade de algo deformar o meio que está;** energia mecânica, energia elétrica, energia térmica, energia nuclear; sim todas deformam o meio que está (*status 2*). trabalho é a energia gasta do sistema em uma determinada quantidade de tempo.
7. **Como um “estado”, o termo pode ser impreciso uma condição de entes físicos**, como matéria, elétrons, ondas eletromagnéticas. energia potencial: gravitacional, elétrica, magnética. energia cinética, energia térmica (calor). Dependendo do caso, existe sim, uma relação entre elas (*status 2*)
8. **Eu não consigo definir energia, mas posso afirmar que seu papel fundamental é produzir trabalho, e esse provocará alteração no sistema.** As modalidades de energia são: potencial gravitacional, cinética, elástica, elétrica (*status 2*). trabalho é a energia aplicada em um corpo.

9. **A definição de energia que tenho em mente é que energia é a capacidade de um corpo de realizar trabalho, mas o conceito pode variar de acordo com o campo estudado. Em termodinâmica esse conceito seria diferente.** Existe energia mecânica, elétrica, térmica, química, nuclear... A energia pode mudar de forma (química para elétrica para mecânica, em um motor elétrico a pilha), mas a energia se conserva sempre (*status 2*). **trabalho é transferência de energia.** Um corpo que cai transforma energia mecânica potencial em energia mecânica cinética através da força gravitacional.
10. **energia é tudo que existe.** energia mecânica, energia elétrica, energia térmica, sonora. Sim a uma relação (*status 2*). trabalho é uma energia capaz de realizar algo.
11. **energia é a medida da capacidade de realizar trabalho (no sentido de deslocamento, ou mesmo repouso, caso seja pequena a energia fornecida).** Mecânica (cinética e potencial), elétrica, eólica, térmica. Sim, a energia não some, ela é transformada em outras espécies. Imaginemos uma bola de basquete. Ao cair (no início energia potencial) ela vai “desenvolvendo” energia cinética. **Quando toca o chão essa energia é “transformada”, ou seja, retirada, pois há dissipação através do som, resistência do ar...** (*status 3*). trabalho é uma aplicação de força que se desloca uma distância d .
12. **energia é um ente da matéria, ou seja, movimento de uma partícula só ocorre devido a uma energia acumulada neste ente ou ao se levantar um objeto este objeto acumula energia potencial.** Modalidade de energia: energia cinética, potencial, térmica, sonora, elétrica, etc. Existe uma relação direta entre potencial e cinética, sonora e térmica (*status 2*). trabalho é uma força aplicada em um ponto que causa um certo deslocamento.
13. **energia está relacionada ao trabalho realizado.** As modalidades de energia que conheço são: energia cinética, energia potencial e energia elástica (*status 2*). trabalho define como sendo a variação de energia.
14. **O conceito de energia pode ser definido como uma quantidade (ou propriedade) pertencente ao corpo** que pode se apresentar de diversas formas (mecânica (cinética, potencial), elétrica, térmica, sonora, etc) que

possuem diversas maneiras diferentes de serem calculadas (expressos pelos modelos matemáticos) e que em um sistema fechado a soma de todas essas maneiras diferentes é uma constante (*status 4*). trabalho seria definido com a variação de um dessas maneiras diferentes em dois pontos distintos do sistema.

15. **energia é algo capaz de realizar trabalho.** energia mecânica, elétrica, térmica, podem ser convertidas umas nas outras (*status 2*)

16. (**Status 0**)

17. **energia sempre está relacionada ao movimento.** No caso da energia mecânica nós temos a energia cinética de algo que tem movimento e a potencial que seria um movimento que uma matéria pode ganhar. No caso da energia elétrica podemos (illegível) a energia potencial. O mesmo vale para energia química (*status 2*).

Corpos Rígidos e Fluidos (noturno)

1. **energia é o que dá movimento.** energia cinética, potencial, nuclear, mecânica, elétrica, entre outras (*status 2*). $\tau = \int_a^b \vec{F} \cdot \vec{dl}$
2. **O quanto um corpo possui em realizar/manter um movimento com relação a sua massa e velocidade.** Sim, pois pela definição temos que para um corpo, temos a relação massa e velocidade (*status 1*). trabalho é uma força aplicada a uma determinada distância.
3. **Uma potência num determinado tempo.** Mecânica, elétrica, eólica, atômica. Sim (*status 2*). trabalho é uma força aplicada numa determinada distância.
4. **Não consigo definir o que é energia.** Na verdade grande parte das energias são potenciais ou cinéticas, um exemplo são as citadas na questão (*status 1*). força utilizada para que uma “partícula” vá de um ponto A a um ponto B
5. **energia é uma força de interação.** energia térmica, energia elétrica, energia mecânica (*status 2*). trabalho é a força multiplicada pela distância.
6. **energia pode ser partículas em movimento** (*status 1*). trabalho é o produto entre a força pelo deslocamento e o cosseno do ângulo entre eles $\tau = F \cdot d \cdot \cos\theta$
7. **energia uma “moeda” de troca da natureza.** energia cinética, potencial, elétrica, mecânica etc. Sim, existe uma relação entre as energias (*status 2*). trabalho é uma medida do “esforço” necessário para mover um corpo.
8. **$E=mc^2$** (*status 1*)
9. **energia está relacionada ao movimento.** energia potencial, elétrica, potencial gravitacional, energia cinética, energia mecânica, energia térmica. Entre algumas há sim (*status 2*). trabalho é a energia que você gasta para movimentar um corpo.
10. **energia é a capacidade de realizar trabalho.** Mecânica, elétrica, química (*status 2*). trabalho é a medida de uma grandeza que relaciona a força aplicada em uma distância, também é a variação da energia mecânica.
11. **É um conceito que se refere a questão espacial definido de um sistema previamente idealizado** (*status 1*)

12. **Ainda não costumo defini-la...mas falo dela pelos efeitos, capacidade de modificar sistemas ou mantê-los em configurações não naturais.** energia mecânica, elétrica, térmica, luminosa, sonora. Pode-se construir máquinas que transformem um tipo de energia em outra sob preço de uma perda. energia se transforma em energia (*status 2*). trabalho...
13. **Tudo tem uma energia, basta tirar do seu repouso.** Sim, energia mecânica, algo basta uma energia para aplicar uma força. (*status 1*). trabalho é a força gasta para deslocar qualquer massa.
14. **energia é um termo físico que define uma quantidade que possibilita a geração de trabalho,** as modalidades que conheço são energia mecânica, energia potencial e energia de repouso, uma grande gama de energia se resumem a energia potencial (*status 2*), definimos trabalho como uma força por distância.
15. **energia é aquilo que o sistema gasta para fazer o que precisa.** Em cada área, mecânica, elétrica, termodinâmica as energias são usadas, cada uma para uma função (*status 2*). trabalho é o que o sistema gasta p/ realizar o trabalho.
16. **energia não tem definição** (energia mecânica, elétrica, potencial, elástica, sonora, solar) (*status 2*). Há relação. trabalho = $W = F \cdot \Delta S \cos \theta$. **o trabalho “é a energia gasta”, ou consumida...**
17. **Capacidade que um corpo (ou mais) tem de armazenar/expressar sua movimentação.** Energias conhecidas são a mecânica, elétrica e nuclear, e outras variações destas (*status 2*). trabalho pode ser definido como o deslocamento que a força causa no corpo.
18. **energia pode ser interpretada como uma ordem de grandeza que os corpos ocupam no espaço.** Esses “níveis” de energia podem ser “armazenados” tornando o corpo potencialmente capaz de libera-lá de alguma forma. Entre os tipos de energia podemos citar a cinética, térmica, e a potencial (*status 2*)
19. **energia é algo que um corpo ou um sistema pode ter que gera interações com outro.** energia mecânica, elétrica, magnética, térmica etc. Todas energias se relaciona e podem ser transformadas (*status 3*). trabalho é uma força aplicada em uma certa distância.

20. **energia é uma quantidade que está relacionada com a massa de um corpo e a aceleração deste corpo, isto é a quantidade de movimento este corpo pode executar e transferir dependendo de sua condição inicial.** energia cinética, energia potencial, e... (*status 2*). trabalho é uma força necessária para realizar um deslocamento.
21. **Difícil isso ein!? energia é algo necessário para que ocorra qualquer movimento.** A energia pode ser definida de várias maneiras, de acordo com as condições do meio: elétrica, mecânica, nuclear, solar, eólica, tantas outras. Todas se relacionam, pois todas envolvem algum tipo de movimento, ou ausência deste, variando apenas em sua fonte (*status 2*)
22. **energia é como uma força.** energia mecânica, cinética, elétrica, potencial. Sim as formas de energias estão relacionadas (*status 2*). trabalho é a força realizada vezes a distância, é a força necessária para que movimentar um objeto.

Termo-Estatística (diurno)

1. **energia para mim é como tempo, ou seja, não tem definição, simplesmente existe.** Conheço as 4 formas de energia e força (eletro, fraca, forte e gravitacional), e também acredito que elas sejam iguais em essência. São manifestações diferentes da mesma energia (*status 1*). trabalho é usar esta energia para modificar o estado da matéria ou radiação.
2. **energia** (*Status 0*).
3. **energia é uma força necessária para que algo se realize.** energia atômica, química, elétrica. Sim, elas estão relacionadas, você gera energia elétrica através da transformação da energia mecânica ou nuclear ou eólica (*Status 2*). trabalho é a quantidade de energia gasta para se realizar algo, como por exemplo, arrastar uma cadeira por uma certa distância.
4. **energia é a junção de trabalho e calor.** Durante o curso já foi visto energia mecânica, elétrica, eletromagnética... (*status 2*). trabalho pode ser definido como a somatória de uma pressão sendo aplicada em várias pequenas parcelas de um volume.
5. **energia é a essência da realidade, é a manifestação de tudo quanto é matéria, calor, fluxos, etc. Sim, em princípio todas as expressões de energia tornar-se-am redutíveis a uma forma primordial** (*status 1*). “trabalho” seria uma noção para atestar a mutação, ou transformação entre expressões da energia.
6. **energia: capacidade de um sistema em realizar trabalho.** Modalidades: potencial, elétrica, nuclear, cinética, potencial, magnética, potencial gravitacional. Elas possuem naturezas diferentes, mas podem ser utilizadas para causar movimentos microscópicos ou macroscópicos (*status 2*). trabalho: energia gasta por um sistema físico em outro sistema físico para movê-lo ou aquecê-lo
7. **energia é a capacidade de um sistema de realizar trabalho.** Quando penso energia penso em algo que está em constante transformação, que nunca é perdida, ou seja, sempre se conserva (*status 3*)
8. **energia se refere à capacidade de realizar trabalho.** Há a energia mecânica, energia elétrica, calor, energia química. Há uma relação direta

entre elas, pois uma pode se converter na outra (*status* 3). Ocorre trabalho quando há uma força não perpendicular a um deslocamento.

9. **energia é uma quantidade que se conserva.** Modalidades: energia cinética, energia potencial (gravitacional, elétrica), energia sonora, energia luminosa (*status* 3)
10. **energia é um conceito muito difícil de se definir em palavra, pois é tão importante e abstrato que há utilizamos compreendemos, mas no caso não tenho capacidade de definí-la.** energia mecânica, térmica, eólica, química, eletromagnética, nuclear, sonora, **espiritual** e etc (*status* 2). Sim, pois em sua natureza (essência) elas são iguais.
11. **É a capacidade que se tem de realizar trabalho**, podendo ela ser energia cinética que está relacionada ao movimento dos corpos. energia elétrica, energia atômica, energia das hidráulicas, energia eólica, energia solar, energia cismica (*status* 2)
12. **energia é algo interpretado por nós como natural, que sempre se transformou em outros tipos de energia quando se faz algum esforço.** As modalidades de energia que conheço são: cinética, potencial, potencial elástica, mecânica e elétrica. Podemos dizer que sim, há uma relação entre estas modalidades (*status* 2). Definimos trabalho como um esforço realizado custando uma porcentagem de nossa energia interna.
13. **energia: conceito que relaciona a massa de um objeto à sua velocidade.** Modalidades: 1) mecânica, 2) química, 3) elétrica, 4) térmica, 5) nuclear, 6) magnética, 7) gravitacional. Sim, há relação entre elas: podem ser reduzidas a outras formas, exceto a (7) (*status* 2)

Mecânica 2 (diurno)

1. **energia é uma forma de quantificar a capacidade que um corpo tem de realizar uma “ação”.** Algumas formas: elétrica, potencial, mecânica, cinética. Relação entre essas formas: e mecânica = potencial e cinética; energia cinética: relacionada a velocidade de um corpo (a nível microscópico está relacionada c/ o grau de agitação das partículas); energia potencial: aquelas que são sujeitas a forças, por exemplo, elétrica, potencial gravitacional, elástica. A energia Calorífica de um corpo está relacionada com o “grau de agitação das partículas do sistema, logo, c/ a energia cinética. (*status 2*). trabalho representa o esforço necessário (energia necessária) p/ uma força deslocar um corpo de uma distância.
2. **energia não apresenta uma definição correta.** energia é algo que se manifesta (ex: movimento) (*status 1*)
3. **energia: grandeza física observada na natureza, é observado principalmente os efeitos da troca de energia entre sistemas** (*status 1*)
4. **energia é um conceito definido à partir da mecânica que é estendido à todas as outras áreas da física.** De modalidade de energia conhecemos elétrica, mecânica, térmica etc. (*status 2*). trabalho é o que um sistema têm de realizar para mudar seu estado.
5. **energia é uma entidade que se mantém constante em um sistema isolado.** energia pode ser percebida em duas modalidades onde uma está relacionada ao meio, ou seja, nos campos influentes no sistema e outra relacionada a choques mecânicos de influência termodinâmica (*status 1*). trabalho é a variação de energia sofrida pelo sistema devido a uma força externa.
6. trabalho: força utilizada para deslocar algo. **energia algo que não pode ser criado apenas transformado.** => energia cinética, potencial gravitacional, elétrica, nuclear, mecânica (*status 3*)
7. **energia é uma grandeza física que se conserva no tempo cuja dimensão é $[M][L^2][T^2]$.** Note que é importante notar a dimensão pois assim como a energia se conserva seu quadrado também se conserva. Existem diversos tipos de energia, energia mecânica engloba a energia cinética e potencial, energia sonora, energia elétrica, energia interna.

Entretanto observe que, por exemplo, energia interna na verdade é a composição da energia cinética e potencial de sistemas microscópicos (*status* 4). trabalho é a quantidade de energia necessária para levar um sistema de um estado a outro.

8. **energia é uma quantidade física usada para quantificar o trabalho necessário para modificar um sistema inicial até o final.** Tipos de energia => mecânica, térmica, química, eletromagnética, potencial (*status* 2). trabalho é a variação de energia entre um estado final e um estado inicial, ou seja, o quanto de energia é perdido para a realização do processo entre os estados iniciais e finais.
9. **Como uma entidade física que pode tanto ampliar quanto diminuir a capacidade que uma partícula (ou corpo) tem de se mover ou a tendência de se mover. É uma grandeza que se manifesta em fenômenos físicos de todos os tipos e pode ser vista também como o quanto um corpo pode interagir dinamicamente (por meio de forças) (*status* 1).**
10. **energia, para mim, é uma quantidade intrínseca da natureza – na verdade, uma abstração quantitativa dessa qualidade que pode se expressar de várias formas (mecânica, massa, potencial, elétrica, calor, potencial gravitacional...), mas que em última instância se trata de algum tipo de cinética (movimento de alguma coisa) ou potencial (tendência ao movimento, ou “obstrução” deste; uma forma de energia que pode ser “trocada” por, ou transformada em, energia cinética) (*status* 4).** trabalho para mim seria uma medida da transferência de energia de quanto da energia de um corpo (sistema...etc) passa para outro.
11. **energia é uma grandeza que se conserva pra um observador inercial em determinadas situações que são “facilmente” estudadas.** Prefiro separar energia apenas em potencial e cinética, dado que sua origem e seu efeito podem ser de natureza completamente distintas, mas poderíamos enumerá-las: mec., ele, química, térmica, gravitacional, nuclear forte,...A relação é dada pelo poder de interconversão dessas energias, amplamente explorado, por exemplo, na rede elétrica (*status* 3)
12. **energia seria a mudança, e a potencial para que se efetue uma mudança, de um estado**, onde por estado podemos entender posição

(energia cinética e potencial), temperatura (energia térmica), intensidade de campo elétrico ou carga (energia elétrica) e etc. (*status 2*).

Termodinâmica (diurno)

1. **É algo que existe no universo, que se conserva e que tem definição matemática clara.** Há energia mecânica (potenciais e cinética) e elétrica. Não vejo nenhuma relação matemática (*status 2*). trabalho é a “energia gasta” para levar um “objeto” (como carga e massa) de campo de um lugar no espaço outro.
2. **Definiria energia como a capacidade de realizar trabalho.** energia elétrica, mecânica, calor, de repouso (mc^2), potencial. A relação existente que todas indicam a capacidade de realizar trabalho (*status 2*). trabalho é o produto de uma força por uma distância, assim o desafio não é definir energia e sim força e distância
3. **energia é definida como uma maneira de realizar trabalho.** Há as energias mecânica, elétrica, potencial, etc. (*status 2*). trabalho é uma das maneiras de empregar energia.
4. **Defino energia como à capacidade de produzir uma ação, um trabalho.** Transformar parte de sua energia em trabalho [...]. Conheço energia mecânica, escura, elétrica, potencial (gravitacional), quântica, hidráulica, nuclear, eólica, geotérmica, térmica... (*status 2*)
5. **energia é a capacidade de realizar trabalho.** energia mecânica, elétrica, química, magnética, energia interna. Todas as energias se relacionam de modo que podem criar trabalho e o trabalho pode ser convertido em outro tipo de energia (*status 3*). trabalho é a capacidade de realizar alguma tarefa, por exemplo; o gás ao elevar um pistão realiza trabalho.
6. **Sabe-se que há uma grandeza (propriedade) que se conserva não importando o que façamos. Pode parecer que as vezes essa grandeza mude (aumente ou diminua), mas logo se percebe que ela apenas se transformou.** Atribui-se a essa grandeza um nome: energia (*status 4*)
7. **energia é um conceito abstrato que está relacionado a uma capacidade que uma partícula tem.** Existe energia mecânica, elétrica, térmica, de repouso de uma partícula, etc. A energia se conserva. Ela não muda, apenas se transforma em outra modalidade. A energia está intimamente relacionada a massa (*status 3*)

8. **energia é uma grandeza física que exprime o quanto e movimento ou capacidade de movimento (potencial) um elemento físico possui.** cinética, potencial gravitacional, eletromagnética, calor. Há relação entre elas quando há transformação de um tipo ou outro (*status 3*). trabalho é a quantidade de energia necessária para mover um ou mais corpos, considerando os **potenciais** nela atuando.
9. **energia é uma entidade que pode gerar movimento em um corpo.** energia mecânica, elétrica, química, potencial, cinética, calor. A relação entre elas é que uma pode ser convertida em outra havendo alguma perda durante o processo (*status 3*). trabalho é uma força exercida para deslocar um corpo de um ponto a outro.
10. **energia mecânica, térmica, elétrica, magnética. As energias podem ser convertidas em uma outra modalidade** (*status 3*).
11. **energia é algo que é difícil explicitar uma definição formal, pode ser dividida principalmente nas modalidade cinética, ligada ao movimento e potencial relacionada com a posição [...] há de se ressaltar que não criação ou perda e sim a transformação** (*status 3*)
12. **energia é algo que se conserva numa translação temporal.** A energia para melhor estudo pode ser dividida em cinética, potencial, química... Tais modalidades de energia podem se converter umas nas outras (*status 3*). trabalho pode ser definido como: $\int \vec{F} \cdot d\vec{r}$

Termodinâmica (noturno)

1. **energia é uma grandeza relacionada à capacidade de realizar trabalho.** (*status 1*). E trabalho é produto escalar da força pelo deslocamento.
2. **energia é um conceito definido como a quantidade de trabalho necessária para realizar alguma alteração em um sistema, tal como deformação, aumento de temperatura, mudança de posição** (*status 1*). Os conceitos de trabalho e energia são relacionados.
3. **energia é um conceito em ciência que diz respeito a quanto ‘esforço’ existe em um sistema (se definirmos ‘esforço’ como sendo um potencial de haja alguma ação). energia também pode ser entendido com um número que se conserva temporalmente em um sistema fechado.** Mecânica, elétrica, potencial gravitacional, nuclear, massa, cinética (*status 4*). Há relações entre elas sim. trabalho é quanto de energia é necessária para realizar uma ação.
4. **É a capacidade de um corpo de fazer algo.** energia cinética, potencial gravitacional, química, térmica, nuclear, sonora, luminosa, etc. Todos os tipos de energia podem ser convertidos uns nos outros, mas nem sempre em sua totalidade (*status 3*)
5. **energia é uma grandeza convenientemente definida a fim de ser uma ferramenta para estudar diversos fenômenos físicos.** A conveniência de usarmos o conceito de energia se deve ao fato dela se conservar sob certas circunstâncias (*status 3*)
6. Modalidade: energia Mecânica (que é a energia cinética + energia potencial do sistema), energia térmica, elétrica, magnética, energia de repouso ($E=mc^2$), etc. **Defino energia com a propriedade de um sistema de modificar o próprio sistema. Assim como a matéria, a energia não pode ser criada nem destruída, mas apenas transformada.** Portanto, energia mecânica pode ser transformada em térmica, por exemplo (*status 3*)
7. (*status 0*)
8. **Está associada à mudança de estado de um sistema.** energia mecânica: associada ao movimento de corpos; energia térmica: associada ao calor; energia elétrica: associada ao fluxo de elétrons (*status 2*)

9. **energia é um conceito que determina quais características de um sistema tem para realizar trabalho** (*status 1*)
10. **energia é sempre relativa, define o estado** de um corpo pode realizar **trabalho** ou se movimentar (*status 2*). $\text{trabalho} = \text{energia} = F_{\text{aplicada}} \times \text{deslocamento}$ (,) energia eletro-magnética, energia cinética, energia potencial, energia química, energia de ligação, etc.
11. **energia mecânica, energia Radiante, energia Nuclear, energia Térmica** (*status 2*). trabalho é o deslocamento de uma força $\mathbf{F} \cdot d\mathbf{l}$.
12. **energia é a capacidade de realizar uma ação mecânica, eletromagnética, térmica, sonora, química** (*status 2*). trabalho? Sou professor

Disciplina/Curso	Turno	N (%)	0	1	2	3	4	5
Ensino Médio	M	54 (100,0)	1 (1,9)	10(18,5)	37(68,5)	6 (11,1)		
Fundamentos de Mecânica	N	16 (100,0)		8 (50)	6(37,5)	2 (12,5)		
Corpos Rígidos e Fluídos	M	17 (100,0)	1 (5,9)	1 (5,9)	11(64,7)	3 (17,6)	1 (5,9)	
Corpos Rígidos e Fluídos	N	22 (100,0)		6 (27,3)	15(68,2)	1 (4,5)		
Termo-Estatística	M	13 (100,0)	1 (7,7)	2 (15,4)	7 (53,8)	3 (23,1)		
Mecânica 2	M	12 (100,0)		4 (33,3)	4 (33,3)	2 (16,7)	2 (16,7)	
Termodinâmica	M	12 (100,0)			4(33,3)	8(66,7)		
Termodinâmica	N	12 (100,0)	1 (8,3)	3 (25,0)	4 (33,4)	3 (25,0)	1 (8,3)	

Questão 2

Ensino Médio (Colégio Parthenon):

1. As colisões perfeitamente elásticas passam 100% da energia, já as inelásticas 0% e as parcialmente elásticas ficam entre essas duas porcentagens. Perfeitamente elásticas = passam a energia, modificando o corpo. Inelásticas = não passam energia. Parcialmente elásticas = passam a energia com menor intensidade (*status 2*).
2. Colisão perfeitamente elástica conserva completamente a energia, a parcialmente dissipa parte da energia e a inelástica dissipa toda a energia (*status 3*)
3. colisões inelásticas são aquelas em que a energia do sistema se conserva (energia dos corpos é mantida). Parcialmente elásticas conservam apenas parte da energia dos corpos, dissipando uma parcela. Nas colisões inelásticas a energia dos corpos é totalmente dissipada (*status 3*).
4. As colisões perfeitamente elásticas são quando, após a colisão a energia de uma matéria se transfere completamente para a outra. As colisões inelásticas são quando, após a colisão, nenhuma energia “passa” para a outra matéria. E as colisões parcialmente elásticas é quando, após a colisão, a energia de uma matéria se transfere parcialmente a outra (*status 2*).
5. colisões perfeitamente elásticas acontecem quando toda a energia é utilizada, colisões parcialmente elásticas são aquelas que parte da energia é dissipada e colisões inelásticas são aquelas que toda a energia é dissipada (*status 3*).
6. colisões perfeitamente elásticas são aquelas que preservam energia na colisão, sendo que as parcialmente elásticas perdem parte dessa, mas inelásticas dissipa-se toda a energia (*status 3*).
7. Nas colisões elásticas há conservação da energia, que irá lançar os corpos em direções opostas. Os choques inelásticos faz com que toda a energia seja dissipada, não havendo mais movimento. Em colisões parcialmente elásticas, parte da energia é perdida no meio e os objetos são movimentados em direções opostas, porém, não com a mesma velocidade. (*status 3*).

8. colisões perfeitamente elásticas é aquela que devolve toda energia comprimida, de volta ao corpo, já inelástica é aquela onde a dissipação de energia (*status 3*).
9. As chamadas colisões perfeitamente elásticas, as inelásticas e as parcialmente elásticas se definem em termos de energia como colisões com energia compatível, e energias que não permitem que colisões sejam elásticas. E a inelástica a colisão tem como coeficiente igual a zero (*status 2*).
10. As colisões perfeitamente elásticas são aquelas em que a quantidade de movimento permanece constante e nas mesmas direções, as inelásticas, possui a quantidade de movimento totalmente “dissipada” e as parcialmente elástica possuem “suas quantidades de movimento” dissipadas, porém alguns vetores permanecem na mesma direção de inicial (*status 2*).
11. As colisões perfeitamente elásticas, como o próprio nome diz, ocorrem quando um corpo, ao colidir com outro, não transmite a energia que estava carregando, nenhuma parte dela. Ao outro lado, colisões inelásticas são as que os corpos transmitem toda a energia acumulada ao ocorrer a colisão. As colisões parcialmente elásticas são um meio termo, nelas, os corpos transmitem apenas parte da energia acumulada (*status 2*).
12. As colisões perfeitamente elásticas fazem com que os corpos, após se chocarem se distanciem o máximo possível um do outro. As colisões parcialmente elásticas fazem com que os corpos após se chocarem se distanciem um pequeno espaço um do outro. As colisões inelásticas fazem com que os corpos após se chocarem não se separem. Esses tipos de colisões ocorrem devido à energia elástica de cada corpo (*status 2*).
13. Colisões perfeitas são aquelas em que não há perda de energia entre o choque das matérias. A inelástica é quando não há nenhuma passagem de energia entre os corpos. Já a parcialmente apenas uma parte se passa (*status 2*).
14. As colisões perfeitamente elásticas conservam a energia, já as parcialmente elásticas dispersam um pouco de energia e as inelásticas quando toda energia é perdida (*status 2*).

15. As colisões perfeitamente elásticas não dissipam energia, por isso não são possíveis. As inelásticas dissipam toda a energia e as parcialmente elásticas perdem só parte da energia (*status 2*).
16. As colisões perfeitamente elásticas são os choques que transmitem completamente a energia de um corpo para outro. As inelásticas são aquelas que, ao chocar um corpo ao outro, ambos param. E as colisões parcialmente elásticas são aquelas em que um para e o outro continua em movimento (*status 2*).
17. As inelásticas não possuem variações de energia. As elásticas e as parcialmente elásticas perdem ou ganham energia (*status 1*).
18. Perfeitamente elástica: a energia será integralmente devolvida. Inelástica: não ocorre devolução de energia. Parcialmente elástica: não há dissipação total de energia (*status 2*).
19. Nas colisões perfeitamente elásticas não há perdas de energia cinética. Já nas colisões parcialmente elásticas ou inelásticas, parte ou a totalidade da energia cinética dos corpos envolvidos é dissipada, convertendo-se em um outro tipo de energia (ex.: luminosa ou térmica) (*status 4*).
20. As perfeitamente elásticas são as que produzem o movimento completo. As inelásticas são as colisões que não produzem movimento, porém não o movimento total (*status 2*).
21. (*Status 0*).
22. As colisões são choques que certamente liberam energia, a qual pode ser absorvida ou transformada em uma força contrária (de resposta). Os três tipos de colisão se resumem basicamente nos que transferem toda a energia para a tal força contrária (os perfeitamente elásticos), nos que absorvem apenas parte da energia reduzindo a força de resposta (parcialmente elásticos) e nos que absorvem toda a energia (inelásticos) (*status 3*).
23. As colisões perfeitamente elásticas são aquelas onde ocorre conservação total de energia, as inelásticas as que não há conservação energética e as parcialmente elásticas, quando se tem uma semiconservação (*status 2*).
24. As colisões perfeitamente elásticas é quando é transferido 100% da energia do corpo A para o B. Inelásticas é quando passa nada de energia e a

- parcialmente elástica é quando passa menos energia que a da perfeitamente, mas passa (*status 2*).
25. colisões elásticas são aquelas em que não se perde nada de energia. colisões inelásticas são aquelas em que se perde toda energia. colisões parcialmente elásticas são aquelas em que se perde parte da energia (*status 2*).
26. As perfeitamente elásticas são as que “batem e voltam” e as inelásticas são as que “batem” e ambas vão para algum lugar (posição) diferente do que estavam no início (*status 1*).
27. (*Status 0*).
28. (*Status 0*).
29. As chamadas colisões perfeitamente elásticas ocorrem quando a força gerada pela ação faz com que os objetos não se rompam, pois a energia irá atingir a elástica que se movimentará, diferentemente da inelástica, onde ocorre o contrário e os objetos, se for uma força grande, podem se deformar. As parcialmente elásticas suportam até somente certo ponto (*status 1*).
30. As colisões elásticas são aquelas após o choque há uma troca de força e os corpos colididos continuam em movimento. As colisões inelásticas são aquelas, que após o choque os corpos param e os choques parcialmente elásticos são aqueles que houve a troca de força e movimento dos corpos, foi alterado (*status 1*).
31. Colisão perfeitamente elásticas é quando há transferência total de energia para outro corpo e a inelástica quando não há transferência de energia e parcialmente elástica quando há uma transferência parcial de energia (*status 2*).
32. Parcialmente elásticas: há colisão e a rota é alterada. Perfeitamente elásticas: há colisão e volta na mesma rota. Inelásticas: há colisão e após as “bolas” param (*status 1*).
33. colisões perfeitas elásticas são aquelas que apresentam uma força elásticas atuando sobre ela, e no sistema esta apresenta uma ou mais molas. As colisões inelásticas são aquelas que não estão presentes em um sistema com molas e possuem apenas forças normais agindo sobre ela. As

- colisões parcialmente elásticas apresentam força elástica e normal (*status* 1).
34. Colisão perfeitamente elástica é quando a energia que o objeto volta com mesma intensidade, as inelásticas é quando não tem essa “volta”, ou seja, a energia é completamente absorvida e as parcialmente elásticas tem uma volta parcial de energia recebida (*status* 2).
35. colisões perfeitamente elásticas com relação a energia presente no sistema, é que ela se mantém provocando a mesma energia nos corpos envolvidos. Inelásticas a energia não se mantém a mesma nos dois corpos, e há algum tipo de dissipação dessa energia. Parcialmente elástica, há algum tipo de dissipação (*status* 2).
36. (*Status* 0).
37. (*Status* 0).
38. colisões elásticas transfere a energia totalmente para o outro corpo. colisões inelásticas: não sofrem alteração com a energia aplicada. colisões parcialmente elásticas perdem parte da energia durante a colisão (*status* 2).
39. Perfeitamente elástica: troca as forças e energia igualmente. Parcialmente elástica: troca as forças e energia desiguais. Inelásticas: não há troca de energia (*status* 2).
40. Parcialmente elásticos: bolinhas uma volta e a outra fica parada. Perfeitamente elásticas: bolinhas se batem e voltam com a mesma energia. Perfeitamente inelásticas: bolinhas ficam paradas (*status* 2).
41. colisões perfeitamente elásticas é quando ao haver colisão entre duas partículas, “cada uma vai para um lado”. Inelásticas: as duas vão para o mesmo lado. Parcialmente: não vão para lados separados totalmente, mas também não para o mesmo lado (*status* 1).
42. Elásticas, quando possui o movimento por completo, sem que haja a interferência de outra coisa, Inelásticas, quando há alguma força impedindo o movimento (*status* 1).
43. As colisões perfeitamente elásticas são aquelas com $e = 1$, ou seja, a energia delas permite o movimento elástico, Teve (ilegível) colisão. colisões inelásticas, não tem movimento, a energia não foi suficiente para movimentar o objeto, tem $e = 0$. Não tem colisão. colisões parcialmente elásticas tem

$e < 1$ e $e > 0$ isso quer dizer que a energia movimentou o carinho mas não chegou a colisão (*status 2*).

44. Em colisões perfeitamente elásticas, o coeficiente possui um valor maior do que 1. Em colisões inelásticas o coeficiente é menor do que o. Já em colisões parcialmente elásticas o coeficiente encontra-se entre 0 e 1 (*status 1*).

45. (*Status 0*).

46. (*Status 0*).

47. As colisões perfeitamente elásticas são aquelas que quando as partículas colidem forma uma determinada molécula, se encaixando uma a outra. As inelásticas é quando não há transformação alguma e as parcialmente elásticas é quando se colidem e altera apenas uma parte (*status 1*).

48. colisões perfeitamente elásticas são colisões que a energia “reflete” 100% no corpo que fez a ação, as inelásticas são colisões em que a energia é transferida para outro corpo e de outra forma na ação e as colisões parcialmente elásticas ocorrem quando parte da energia se conserva da forma que estava e outra parte se transforma (*status 2*).

49. As colisões elásticas (perfeitamente) acontecem quando dois corpos se chocam e eles quase não sofrem danos, já que ao se chocarem os corpos vão em direções diferentes. As colisões inelásticas são quando os corpos ao se chocarem não continuam o movimento. E nas colisões parcialmente elásticas, os corpos ao se chocarem sofrem um leve desvio de direção (*status 2*).

50. As colisões perfeitamente elásticas são aquelas que ao dois corpos se chocarem continuam em movimento em sentidos opostos, as inelásticas são aquelas em que dois corpos ao se chocarem ficam parados sem movimento após o choque, e as parcialmente elásticas são aquelas que ao se chocarem tem um pequeno movimento após o choque (*status 1*).

51. (*status 0*).

52. (*status 0*).

53. As colisões perfeitamente elásticas é quando após a colisão todos os objetos envolvidos no sistema, continuam em movimento. colisões inelásticas é quando (*Status 1*).

54. (*Status 0*).

Fundamentos de Mecânica (noturno):

1. (*status 0*)
2. A definição é quando existe uma colisão parte da força (energia) empregada no momento de colisão o material colidido sofre deformação elástica e plástica devido as leis de conservação e leis de Newton (*status 2*)
3. Elástica é quando a energia rebate e volta com menos força e o movimento do “meio no qual a energia estava” muda o movimento; inelástica: o corpo é duro e a energia não desempenha (*status 1*)
4. (*status 0*)
5. Não foi possível definir, pois não conheço os termos (*status 1*)
6. (*status 0*)
7. Uma colisão perfeitamente elásticas são aquelas em que quando dois corpos se colidem há uma separação total dos corpos após a colisão, já na inelástica ocorre o contrário, os corpos formam um único corpo, já na parcialmente elástica os corpos ficam unidos por um tempo após a colisão e depois se separam (*status 1*)
8. (*status 0*)
9. (*status 0*)
10. As colisões perfeitamente elásticas são aquelas em que o trabalho que as ocasionam tem módulo igual, as inelásticas aquelas em que não há energia em excesso, e as parcialmente elásticas são aquelas em que o corpo A possui mais energia de colisão que o corpo B (*status 1*)
11. (*status 0*)
12. colisões perfeitamente elásticas, são aquelas onde não há perda de energia – todo movimento é transferido de um corpo ao outro. Inelásticas são onde há perda total de energia quando há a colisão, os corpos não assumem movimento. As parcialmente elásticas são aquelas onde há a transferência parcial de energia (movimento) (*status 3*)
13. Como a transmissão total ou parcial de sua energia de movimento no choque. Se for perfeitamente elástica sua energia se conserva então sua quantidade de movimento se mantém (100%) a partir daí vem a parcialidade ou perda de sua energia no choque, até as inelásticas onde sua energia cinética é totalmente absorvida (*status 3*)

14. (*status* 0).

15. As perfeitamente elásticas são colisões onde não existe perda de energia cinética (utopia) e o corpo se separa. As parcialmente elásticas o corpo se separa e perde energia e a inelástica o corpos perde energia e não se separa (*status* 3)

16. Nas colisões elásticas não há a dissipação de energia entre os corpos, conseqüentemente não há variação de momento pois não há a variação de energia cinética. Na colisão parcialmente elástica parte da energia é dissipada em formas distintas (calor, atrito, som) de maneira que há a variação de momento, porém o momento final é não nulo. Finalmente, em uma colisão inelástica, toda a energia é dissipada e o momento final dos corpos é nulo (*status* 3).

Corpos Rígidos e Flúidos (diurno):

1. colisões perfeitamente elásticas são dissipadas energia em forma de atrito, som, etc. Nas inelásticas, a energia é absorvida e nas parcialmente elásticas, parte da energia é absorvida e parte é dissipada (*status 2*)
2. colisões perfeitamente elástica – sem perda de energia para o sistema – choque entre uma bola e uma mola fixada; colisões inelástica – quando o sistema perde toda a energia – choque entre; colisões parcialmente elástica – ocorre perda parcial de energia (*status 2*)
3. Elásticas: perde energia; inelástica: conserva-se a energia; parcialmente elástica: perde energia, ou seja, se transforma em calor, ruído, etc (*status 3*)
4. Perfeitamente elástica: o choque não gera dissipações de energia, é uma situação ideal; parcialmente elástica – parte da energia se dissipa no choque; inelástica: toda energia acumulada no sistema se dissipa no choque (*status 3*)
5. Essas colisões são definidas de acordo com a conservação da energia, se imaginarmos um sistema isolado. Para colisões elásticas não consideramos a perda de energias dissipativas. As inelásticas são as que perdem maior quantidade de energia e as parcialmente elásticas são intermediárias (*status 3*)
6. colisões perfeitamente elásticas: sentem uma transferência total de energia de um corpo para o outro; colisão inelástica: a energia é perdida na colisão; parcialmente elásticas: parte da energia é perdida (*status 2*)
7. Colisão elástica: conservação de energia; colisão inelástica: a conservação da energia é parcial (*status 2*)
8. A colisão perfeitamente elástica é aquela que toda energia do sistema é conservada; inelástica é aquela que a energia se dissipa, e a parcialmente elástica apenas uma parte da energia se conserva (*status 2*)
9. Em colisões perfeitamente elásticas existe conservação da energia cinética e os corpos permanecem isolados. Em colisões inelásticas não tenho certeza sobre a energia. Nas outras colisões existe conservação de momento, mas não necessariamente cons. de energia cinética (*status 4*)

10. Na colisão elástica a energia se conserva, na parcialmente elástica há uma perda parcial na colisão e na colisão inelástica há uma perda total de energia, a energia mecânica me refiro (*status 3*)
11. Colisão elástica é um termo (que na prática não ocorre) referente ao início e fim das grandezas de um corpo. Pontuemos como exemplo uma bola lançada numa parede e ela volta com mesmo módulo de velocidade, mesma energia. O conceito de colisão inelástica é similar ao da colisão elástica, com a diferença de que nesse caso não há volta, o objeto lançado “fica” inerente no corpo atingido. colisões parcialmente elásticas são colisões em que o objeto volta com perda das grandezas já citadas. (*status 1*)
12. Nas colisões perfeitamente elástica sua energia mecânica total se conserva; nas colisões inelásticas sua perda de energia mecânica é máxima, onde duas partículas ao se chocarem tende a caminhar juntas; nas colisões parcialmente elásticas há perda de energia mecânica porém os corpos tendem a se deslocar separadamente após a colisão (*status 3*)
13. (*status 0*)
14. Considerando as energias cinéticas em relação ao centro de massa: As colisões elásticas são aquelas em que a energia (no caso, mecânica) conserva-se, ou seja, não haveriam as transformações das energias cinéticas dos corpos envolvidos na colisão, continua igual (a energia cinética é constante). Nas colisões inelásticas: a quantidade de energia cinética é transformada em outras formas de energia (térmica, sonora, para de deformação do corpo, entre outras) e ficam parados. Nas colisões parcialmente elásticas parte da energia inicial total se perde (*status 4*)
15. Nas colisões os objetos relacionados transferem a energia contida neles entre si (*status 1*)
16. Uma colisão perfeitamente elástica é uma colisão em que há conservação da energia cinética, após a colisão dos corpos envolvidos. Uma colisão inelástica é exatamente o contrário da colisão perfeitamente elástica a energia cinética dos corpos após a colisão não se conserva. Na colisão parcialmente elástica, há conservação de apenas parte da energia inicial dos corpos. As justificativas para a não conservação de energia vem do fato

de as vezes a energia cinética se transformar em outras energias dependendo do tipo de sistema (*status 3*)

17.A energia antes é igual a energia depois; inelástica: a energia não se conserva (*status 2*)

Corpos Rígidos e Fluídos (noturno):

1. Elástica -> há conservação energia cinética; inelástica -> não há conservação de energia cinética, há perda através de atrito, calor etc; parcialmente elástica -> há perda parcial de $E_{\text{cinética}}$ de tal forma como a inelástica (*status 3*).
2. A energia se conserva para colisões elásticas, pois a v_i é igual a v_f (*status 2*).
3. Colisão elástica = energia cinética se conserva; colisão inelástica = energia cinética não se conserva; parcialmente elástica = não sei (*status 3*).
4. Elástica não há perda de energia; parcialmente elástica perde um pouco de energia e inelástica é uma colisão em que a energia cinética não se conserva (*status 2*).
5. Elásticas: quando a energia cinética se conserva; inelástica: quando a energia cinética não se conserva (*status 3*).
6. Na física é definido como colisões perfeitamente elásticas aquelas em que não há perda de energia (*status 2*).
7. -colisões perfeitamente elástica: uma interação de curto intervalo de tempo entre dois corpos, onde a energia cinética é conservada; -colisão inelástica: interação num curto intervalo de tempo onde toda energia cinética é dissipada; -parcialmente elástica: interação de curto intervalo de tempo onde parte da energia é dissipada (*status 3*).
8. (*status 0*).
9. colisões perfeitamente elásticas conservam o momento linear; inelásticas tem máxima perda da energia cinética; parcialmente elásticas tem o coeficiente de restituição menos do que 1 (*status 2*).
10. Perfeitamente elásticas: conservação energia cinética; Inelástica: maior dissipação de energia; parcialmente elástica: (*status 3*).
11. As três consistem numa diferenciação espacial, onde uma não ocorre mudança no início e no final da colisão, o que não acontece nos outros dois, ocorrendo mudança na energia que não se conserva (*status 1*).
12. Não me lembro qual é qual (*status 1*).

13. São colisões onde a troca de energia em pequenos intervalos de tempo, onde depende da velocidade dos objetos que depende da energia gasta para aplicar a velocidade do objeto (*status 1*).
14. As colisões perfeitamente elásticas conservam tanto a energia cinética quanto o momento linear; as inelásticas conservam o momento angular e os dois corpos passam a ser um só e as parcialmente elásticas os corpos se separam e conservam somente o momento linear (*status 3*).
15. As perfeitamente elásticas são, por exemplo, bolas de bilhar, que batem e cada 1 vai para um canto. Inelásticas, quando os carros se batem e ficam juntos. Parcialmente elásticas, quando o sistema perde um pouco de energia e modifica o movimento (*status 2*).
16. colisões perfeitamente elástica, há conservação de energia; inelásticas há perda de energia; parcialmente elástica = há perda de energia (*status 2*).
17. Apenas os perfeitamente elásticos conservam a energia mecânica. As inelásticas não conservam porque a energia cinética final será diferente do inicial (*status 2*).
18. As colisões perfeitamente elásticas são aquelas em que não há perda de energia em forma alguma a não ser cinética. Na inelástica há perda de energia em forma de calor etc porém os corpos saem juntos após a colisão. Parcialmente elásticas além de não saírem juntos os corpos perdem energia do movimento em outras formas (*status 3*).
19. colisões elásticas há conservação da quantidade de movimento e da energia cinética. Já na inelástica há conservação da quantidade de movimento mais não da energia cinética devido há vários fatores como por exemplo deformação (*status 4*).
20. Colisão elástica não perda de energia, toda energia é transferida de um corpo para o outro. Colisão inelástica toda a energia é absorvida, não há transferência. Colisão inelástica parte é transferida é parte é absorvida (*status 2*).
21. Em termos de energia, podemos definir essas colisões de acordo com o gasto, ou conservação ou a transferência de energia, entre dois ou mais corpos (*status 2*).
22. As colisões dependem da conservação de energia. Não lembro ao certo qual corresponde a cada caso (*status 1*).

Termo-Estatística (diurno):

1. Colisão perfeitamente elástica é não ter transformação de energia; inelástica é ter transformação total e parcialmente é meio termo (*status 2*)
2. Nas colisões perfeitamente elástica a energia do sistema se conserva, nas parcialmente inelástica parte desta energia transforma-se em som, calor, parte é gasta em atrito, etc; nas colisões perfeitamente elástica toda energia no corpo se dissipa na forma de calor, som, ou mesmo deformação do corpo (*status 3*)
3. colisões elásticas há transferência total de energia, na inelástica a energia é transferida para o meio. E na parcialmente elástica só uma parte é transferida como exemplo pode ser usar duas bolinhas, no primeiro caso uma fica parada e a outra se movimenta, no segundo as duas ficam paradas e no terceiro as duas ficam em movimento só que com uma velocidade menor, após a colisão (*status 3*)
4. colisões perfeitamente elásticas são aquelas que a energia se conserva, já nas inelásticas há perda de energia (*status 2*)
5. Perfeitamente elásticas – conservação das expressões mecânicas da energia; inelásticas – não conservação; parcialmente elásticas – parcial conservação (*status 2*)
6. Elástica: energia total do sistema é conservado após a colisão; inelástica: se totalmente inelástica, a energia inicial é toda dissipada; parcialmente inelástica: onde a energia do sistema após a colisão é menor que a energia inicial (*status 2*)
7. As colisões perfeitamente elásticas são aquelas onde não há perda de energia cinética após a colisão. A inelástica é aquela que a energia cinética inicial é totalmente transformada em algum outro tipo de energia. As colisões parcialmente elásticas são aquelas onde há transformação de parte da energia cinética inicial (*status 3*)
8. colisões perfeitamente elásticas são aquelas em que há conservação da energia mecânica. Inelásticas são aquelas em que há completa dissipação da energia mecânica. Entre estes dois extremos há a colisão parcialmente elástica (*status 3*)

9. colisões perfeitamente elásticas são aquelas em que não há perda de energia do sistema em questão; colisões inelásticas são aquelas em que há perda de energia do sistema em questão; para as parcialmente elásticas: há perda parcial de energia (*status 2*)
10. Não há dissipação de energia. A energia é dissipada quase que totalmente. Uma parte da energia é dissipada. Dissipação de energia é quando não conseguimos utilizar a mesma para um propósito (illegível) ou o corpo absorve esquentando e depois passando este calor para o ambiente, apenas aumentando a entropia do universo (*status 1*)
11. A energia produzida nas colisões perfeitamente elásticas é a energia onde cinética onde um módulo a variação vale o dobro; parcialmente elástica, ocorre uma perda de energia entre os corpos ou por dissipação térmica, perda de massa ou outros fatores externos produzido na interação dos dois corpos. A energia inelástica ocorre a dissipação parcial, e dissipada a energia envolvida é absorvida pelo outro corpo que sendo interagido (muito illegível) (*status 3*)
12. Elásticas: quando não há deformações nos materiais, isto é, eles ficam exatamente iguais como antes depois da colisão; inelásticas: neste caso há uma deformação total dos materiais envolvidos, podem até se grudarem; parcialmente elásticos: podemos definir que um dos materiais vai sair deformado depois da colisão, portanto em termos de energia podemos dizer isto: legenda: E = representa colisões perfeitamente elásticas, P = colisões parcialmente elásticas, I = colisões inelásticas ($E < P < I$), isto é, as colisões perfeitamente elásticas gastam mais energia que as outras citadas (*status 2*)
13. Perfeitamente elásticas: quando há conservação de energia; o centro de massa se mantém; inelástica: há conservação de Em (energia mecânica – entendimento meu, pesquisador Alexandre); parcialmente elástica: (*status 2*)

Termodinâmica (diurno):

1. As colisões perfeitamente elásticas são as que conservam energia cinética, inelásticas não conservam energia cinética e parcialmente inelásticas também não conservam (*status 3*).
2. Elástica: não há perda de energia dos corpos que colidem; inelástica e parcialmente elástica: a energia cinética final dos corpos é menor que a inicial, isto é, energia foi transformada em outras formas (*status 3*).
3. (*status 0*)
4. Elásticas: colisão de 2 ou + corpos que não sofrem deformações permanentes durante o impacto (conserva-se o momento linear e a energia cinética); inelásticas: não há conservação de energia e produzem deformações permanentes (*status 3*)
5. Em todas as colisões as energias se conservam, o que as difere é que na perfeitamente elástica a energia cinética se conserva, nas demais a energia cinética não se conserva (*status 3*)
6. As colisões perfeitamente elásticas são aquelas em que toda energia mecânica inicial se conserva, não havendo perdas através de energia térmica ou sonora. Já nas colisões inelásticas e parcialmente elásticas há uma perda de energia mecânica (*status 4*)
7. Elástica: a energia cinética dos corpos envolvidos na colisão se conservam; parcialmente elástica: energia cinética não se conserva, parte dela é transformada em outras modalidades; inelástica: energia cinética é totalmente transformada (*status 3*)
8. Colisão elástica conserva totalmente a energia do sistema diferente da parcialmente elástica que dissipa energia da colisão em forma de som, calor ou deformação dos corpos (*status 4*)
9. As elásticas tem conservação de energia, a parcialmente elástica tem uma diminuição na energia que é doada ao outro corpo. Neste caso, o restante da energia virou calor, ruído (*status 4*)
10. Perfeitamente elástica – conserva a energia, parcialmente elástica – parte da energia do sistema se perde na colisão, inelástica – (*status 2*)

11. Nas colisões perfeitamente elásticas há a conservação da energia cinética já nas colisões inelásticas ocorre a perda da energia cinética devido a transformação em alguma outra forma de energia (*status 3*)
12. Perfeitamente elástica – não há dissipação de energia para o ambiente; inelástica – há dissipação de energia para o ambiente (*status 2*)

Termodinâmica (noturno):

1. colisões elásticas tem a energia cinética conservada, enquanto as demais: inelásticas e parcialmente elásticas, energia mecânica total. Num choque elástico não há variação na energia interna, impondo que energia atribuída à translação se conserve (*status 5*).
2. Nas colisões perfeitamente elásticas, não há transformação de energia mecânica em outras formas de energia, ou seja, ela se conserva. Já nas colisões parcialmente elásticas, ou inelásticas, existe perda de energia mecânica, ou seja, ela se transforma em outras formas de energia (térmica, som, ...) (*status 4*).
3. Perfeitamente elásticas: não há transformação de tipos de energia inelástica: há transformação de tipos de energia (exemplo: cinética -> térmica). Parcialmente elásticas: há transformação de tipos de energia, exemplo (energia cinética -> deformação -> energia cinética) (*status 4*).
4. colisões elásticas: colisões onde há total transferência de energia entre as partes. colisões parcialmente elásticas: onde há uma parcial transferência de energia. colisões inelásticas: onde há conservação do momento das partes (*status 2*).
5. – Colisão elástica: É aquela onde nenhuma energia é dissipada; - Colisão inelástica: É aquela onde o máximo de energia é dissipada, respeitando a conservação do momento; - Colisão parcialmente elástica: acontece quando se dissipa uma energia inferior à energia máxima que poderia se dissipar (*status 3*).
6. –colisões perfeitamente elásticas: quando a energia cinética do sistema se conserva; -colisões perfeitamente inelásticas: quando a energia cinética do sistema varia, ou seja, parte da energia é dissipada (*status 3*).
7. Nas colisões perfeitamente elásticas (condição ideal), a energia (cinética) do movimento antes da colisão é totalmente transformada, novamente, em energia cinética. Nas colisões inelásticas há transformação de energia cinética (antes da colisão) em outras formas de energia (elástica, sonora, térmica, ...) que representa os eventos naturais de forma mais real. A colisão parcialmente elástica é a transformação de energia cinética em cinética e outras formas (*status 4*).

8. colisões perfeitamente elásticas: conservação da energia cinética. colisões inelásticas: há conservação apenas do momento linear não encontro o assunto “colisões parcialmente elásticas”, em livros de Física Superior, de maneira satisfatória. Estou em busca de uma referência, pois ouvi comentários de que Halliday/Resnick & Walker piora a cada nova edição (*status 2*).
9. Perfeitamente elásticas: conservação de momento linear e energia (*status 2*).
10. Perfeitamente elástica = conserva energia e momento (*status 2*).
11. (*status 0*).
12. Elásticas: quando há a conservação da energia mecânica. Inelásticas: quando não há conservação da energia mecânica (*status 2*).

Mecânica 2 (diurno):

1. Isso remete à conservação da energia. Em colisões perfeitamente elásticas, não existe nenhuma forma de dissipação, não ocorre transformação de energia em outras. Nas colisões perfeitamente inelásticas também não ocorre nenhum tipo de dissipação. A diferença é que na primeira os corpos que colidiram permanecem separados após a colisão, e na segunda os corpos se “ajuntam”. Nas colisões parcialmente elásticas ocorre dissipação de energia, isto é, parte da energia que os corpos tinham inicialmente se transforma em algum outro tipo (*status 2*).
2. Perfeitamente elástica: a energia mecânica se conserva. Parcialmente elástica: a energia mecânica não se conserva. Inelástica: a energia mecânica não se conserva (nesse choque ocorre maior dissipação de energia) (*status 2*).
3. colisões elásticas são eventos de colisão em que a energia mecânica do sistema não é dissipada em outras formas, colisões inelásticas são colisões em que toda energia mecânica que pode ser dissipada mantendo a conservação do momento linear é convertida em outras formas de energia (*status 3*).
4. colisões perfeitamente elásticas são as colisões que não dissipam energia. Nas inelásticas e parcialmente inelásticas ambas dissipam energia, mas na ‘inelástica’ há a fusão dos dois corpos (*status 2*).
5. colisões perfeitamente elásticas é o único tipo de colisão que mantém a variação de energia a cinética e as conservativas enquanto outros tipos envolvem variação de energia não conservativa sendo a inelástica a de maior variação $E \nrightarrow \text{conv.}$ (*status 3*).
6. Elásticas: conservam energia cinética. Parcialmente elásticas: não conservam a energia cinética. Inelásticas: não conservam energia cinética (*status 3*).
7. Elásticas $\rightarrow$ não há conservação de energia na colisão (há deformação entre os corpos que colidem absorvendo energia). Inelásticas $\rightarrow$ há conservação de energia no movimento dos corpos. Parcialmente elásticas $\rightarrow$ o corpo é deformado absorvendo energia mas volta ao estado inicial devolvendo a energia ao sistema (*status 2*).

8. As colisões perfeitamente elásticas são aquelas que conservam totalmente a energia cinética do centro de massa. As colisões parcialmente elásticas e inelásticas não conservam a energia cinética do centro de massa (*status 3*).
9. 1 – Perf. Elásticas: energia dissipada = 0. A energia mecânica se conserva.
2 – Inelásticas: Não há “restituição” de energia: os corpos colidem, ficam unidos, e continuam seu movimento assim. Perde-se energia, mas só por isso. 3 – Parc. Elásticas: algo entre 1 e 2 -> só em função da energia, fica difícil definir cada uma (*status 2*).
10. Podemos definir os choques em termos de velocidade relativa, dos corpos que trocam momento. No caso perfeitamente elástico, a velocidade relativa se conserva e a energia também, nos inelásticos a velocidade relativa é levada a zero e há o máximo de perda energética, enquanto o parcialmente elástico fica no meio do caminho, perdendo energia, seja por deformação, seja por geração de ondas, seja por desorientação (aumento térmico) (*status 4*).
11. Temos que para sistemas ditos conservativos, a energia total do nosso sistema se conserva, porém temos que a energia cinética se conserva em casos em que temos colisões perfeitamente elásticas, o que não é observado em colisões inelásticas, nem em parcialmente elásticas (*status 3*).

Disciplina/Curso	Turno	N (%)	0	1	2	3	4	5
Ensino Médio	M	54 (100,0)	10(18,6)	12(22,2)	24(44,4)	7(13,0)	1(1,8)	
Fundamentos de Mecânica	N	16 (100,0)	7(43,7)	4(25)	1(6,3)	4(25)		
Corpos Rígidos e Fluídos	M	17 (100,0)	1(5,8)	2(11,8)	6(35,3)	6(35,3)	2(11,8)	
Corpos Rígidos e Fluídos	N	22 (100,0)	1(4,5)	4(18,2)	9(40,9)	7(31,9)	1(4,5)	
Termo-Estatística	M	13 (100,0)		1(7,7)	7(53,8)	5(38,5)		
Mecânica 2	M	12 (100,0)			6(50)	5(41,7)	1(8,3)	
Termodinâmica	M	12 (100,0)	1(8,3)		2(16,7)	6(50)	3(25)	
Termodinâmica	N	12 (100,0)	1(8,3)		5(41,7)	2(16,7)	3(25)	1(8,3)

Questão 3:

Ensino Médio (Colégio Parthenon):

1. O que observamos é a lei da Inércia, pois todo corpo tende a ficar parado se não houver interferência. Porém, quando há uma modificação no seu estado natural ele se movimenta (*status 1*).
2. 1ª situação – nada acontece, pois os 6 corpos estão em inércia sem influência de nenhuma força externa para alterar tal estado. 2ª situação – apenas 2 primeiros pêndulos da esquerda sofrerão uma perturbação prática, devido ao princípio de conservação de energia. 3ª situação – Os dois primeiros pêndulos da esquerda sofrerão o distúrbio, mas não com a mesma intensidade, porque a energia se dissipa. 4ª situação – As três da esquerda farão o mesmo movimento que os pêndulos da direita, enquanto estes se estabilizam. 5ª situação – Os dois blocos da esquerda se juntam aos dois do meio e se lançam no mesmo movimento. (*status 2*).
3. Pela conservação de energia, admitindo que a massa das esferas seja igual, a colisão de uma bolinha com as outras cinco levantará uma bolinha oposta à colisão. Duas bolinhas levantarão as duas do canto oposto e assim por diante (*status 1*).
4. Na primeira figura nada ocorre. Na segunda, a “bolinha” da outra ponta irá se “mover”. Na terceira, as duas da outra ponta irão se movimentar. Na quarta, as três se movimentarão. Na quinta, as duas irão se movimentar. E, na última a única parada entrará em movimento (*status 1*).
5. A energia vai sendo dissipada para cada bolinha do pêndulo gradativamente (*status 2*).
6. Na situação I nada ocorre, na II a esfera da ponta ao se chocar com o sistema faz com que a esfera do outro extremo movimente-se em movimento pendular, na III as duas esferas das pontas alternam-se em movimento pendular, na IV as duas dos extremos alternam-se em repouso e na VI as esferas dos extremos alternam-se em repouso (*status 1*).
7. A energia potencial e cinética nas esferas se altera. Cada esfera pode passar energia para a esfera seguinte, de modo que, consiga movê-la e

perca sua energia, ficando parada. Uma força externa é capaz de aumentar a energia do sistema, fazendo com que mais bolinhas entrem em movimento simultaneamente (*status 2*).

8. (*Status 0*).
9. O pêndulo de Newton demonstrado nas imagens acima permite a conclusão de que o movimento é constante, por exemplo, a massa deslocada (número de pêndulos), deslocará o mesmo número do outro lado, com a mesma velocidade. Nesse sistema temos a velocidade constante (aceleração igual a zero) (*status 2*).
10. A quantidade de movimento tem que ser constante no início e no final de um sistema, portanto o número de bolinhas que entrarão em colisão com as que ficaram paradas determinarão o número que irá subir após o impacto (*status 2*).
11. De acordo com a ideia da transferência de energia, os pêndulos acima vão transmitir a energia que acumularam durante a queda, transmitindo-a para os pêndulos do outro lado. Na (I), os pêndulos estão em repouso; na (II), a bolinha na extrema esquerda vai ganhar deslocamento do pêndulo da direita, (III) as duas bolinhas da esquerda vão ganhar movimento, (IV) as três bolinhas da esquerda vão ganhar movimento, (V) nesse caso, duas bolinhas da direita em movimento vão, juntamente com as duas da esquerda, produzir movimento para a esquerda, (VI) quatro bolinhas da direita vão produzir movimento junto com a da esquerda (*status 3*).
12. Situação I: nenhuma das esferas será perturbada, não possui transmissão de energia. Situação II: a última esfera será perturbada, a energia da esfera levantada será transmitida às outras até chegar na última. Situação III: as duas últimas esferas do lado esquerdo serão perturbadas. Situação IV: os dois lados serão perturbados. Situação V: as quatro esferas se chocarão com as duas e depois as duas primeiras serão movimentadas. Situação VI: mesmo fato da situação V, com uma esfera. A modalidade da energia que permite tal fato é a energia potencial (*status 2*).
13. Inicialmente todas as bolas estão paradas, quando por algum motivo uma delas recebe determinada energia, inicia-se um movimento e por inércia como não tem mais nenhuma força atuando em nenhuma bola todas tendem a permanecer em movimento (*status 1*).

14. (*Status 0*).
15. Não sei (*status 1*).
16. Ao analisar a figura acima é possível concluir que as bolinhas puxadas, ao serem soltas e baterem nas outras, irão transmitir a energia para as demais (paradas) e a última bolha (oposto a aquela que foi puxada) elevar-se-á (*status 2*).
17. Em ambas as situações há a transferência de energia de um pêndulo para o outro (*status 2*).
18. Momento 1: todas as esferas estão paradas e não ocorre transmissão de energia. Momento 2: ao se soltar a energia será transmitida e a esfera da extrema esquerda sairá do repouso. Momento 3: ao se soltar as duas esferas da esquerda se movimentarão. Momento 4: ao se soltar as três esferas da esquerda se movimentarão. Momento 5: ao se soltar as duas da esquerda se movimentarão e deslocarão duas da extrema direita. Momento 6: ao se soltar deslocará a da esquerda de pois uma da direita a energia se dissipar. (*status 1*)
19. No pêndulo de Newton ocorre uma série de choques entre as bolas que constituem o sistema. Em cada choque, a energia cinética de uma bola é transferida para a seguinte, permitindo que essa adquira uma determinada velocidade. Na situação apresentada na segunda figura, a bola da ponta direita choca-se com a seguinte, transferindo parte de sua energia. A outra parte é dissipada. Por sua vez, essa bola transfere sua energia para a seguinte e assim por diante, até que a bola da ponta esquerda adquira velocidade e reinicie o ciclo (*status 3*).
20. Na I situação temos 6 pêndulos estáticos que necessitam de um impulso para provocar o movimento. Ao ceder o impulso na II, podemos denominá-lo como uma energia, ou seja, alguma força ou ação necessária para induzir o movimento ou tirar a inércia. Na figura III e IV vemos os atos como consequência, mostrando que a “energia” é acumulativa e dissipativa em mesmos meios (*status 2*).
21. 1ª Continuará estática. 2ª A última esfera vai se mover para a esquerda. E as outras permanecerão paradas. 3ª As duas últimas esferas se moverão. 4ª As três últimas esferas se moverão. 5ª As quatro últimas esferas se moverão. 6ª as cinco últimas esferas se moverão (*status 1*).

22. (*Status* 0).

23. Mostra a lei de ação e reação, quanto maior a força aplicada no primeiro pêndulo, ela se transfere em forma de energia às outras. Ou seja, **está sendo mostrado um aumento da força aplicada** que faz com que mais esferas se movam, quanto maior a força, maior a energia acumulada e maior a movimentação existente (*status* 2). (**Modelo Mental**)

24. É a primeira lei da inércia, onde todo corpo tende a permanecer em seu estado natural até que há transferência de energia, ou seja até que outro corpo haja sobre ele (*status* 1).

25. (*status* 0).

26. Em geral a energia passa de uma bolinha para outra e se conserva. 1. Estático. 2 Não sei. 3 Não sei. (*status* 0)

27. (*Status* 0).

28. 1ª Situação: Não ocorrerá nada. 2ª Situação: O pêndulo ao se chocar com o pêndulo ao lado irá transmitir sua energia mecânica para os outros pêndulos (quantidade de movimento) e assim o pêndulo da extrema esquerda irá se deslocar com mesma velocidade do pêndulo da direita. 3ª situação: Ocorrerá a mesma coisa, só que com os últimos 2 pêndulos. 4ª situação: ocorrerá a mesma coisa, só que com os 3 últimos pêndulos. 5ª e 6ª situação: Como a massa dos pêndulos juntos será maior que a massa dos pêndulos que receberam o choque, como ocorre quando está junto 4 pêndulos e 5 pêndulos, a velocidade com que irá sair os pêndulos ou pêndulo que receber o choque será aumentar, de acordo com a quantidade de movimento ($Q_i = Q_f$) (*status* 2).

29. I. Na primeira situação os pêndulos continuaram parado, pois não há nenhum em movimento, acarretando no mesmo para os outros. II. O pêndulo que será solto fará com que todos os outros se movimentem lentamente quando se chocarem. O mesmo ocorrerá com as situações III, IV, V e VI, porém com uma intensidade crescente, pois as bolinhas em movimento se chocarão com a primeira que estiver parada, e essa, agora sob a intensidade da que está em movimento “empurrará” a próxima, logo todos estarão em movimento (*status* 1).

30. A energia aplicada sobre um dos pêndulos é armazenado em forma potencial no momento que ele tem maior altura, quando entra em movimento uniforme a sua velocidade faz com que quando colida com outro pêndulo haja um choque e ele entra em movimento junto com o primeiro pêndulo em função dessa troca de energia (*status 3*).
31. A primeira situação não haverá mudança, pois não há uma energia aplicada sobre as bolinhas enquanto que nas outras situações há energia e se a energia for transferida pelas bolinhas as bolinhas irão se mover (devido a ideia de conservação de energia) (*status 2*).
32. Caso ocorresse a conservação da energia nesse sistema, ele continuaria a “funcionar”, sem parar. Mas, como há essa perda uma hora o pêndulo para. No início, como a quantidade de energia dissipada é pequena a cada choque, o número puxado de bolinhas será o mesmo a se “levantar” depois do choque que com as perdas de energia irá diminuir o número d bolinhas “levantadas” até a parada do sistema (*status 3*).
33. 1) Não ocorreu ação de energia. 2) **Ocorreu ação da energia cinética e potencial**, pois houve mudança na velocidade e na altura. **Nos sistemas 3, 4, 5, 6 também ocorreu a ação de energia mecânica e potencial**, pois ocorreu alteração na velocidade e na altura (*status 2*). **(Modelo Mental)**
34. Em todos os casos tem conservação de energia. Por exemplo no primeiro caso, quando a bola em movimento se chocar com a outra, a energia vai se propagar por todas as outras bolas, causando movimento da última bola (*status 3*).
35. Na primeira imagem não havendo nenhum tipo de força agindo sobre o pêndulo, ele se mantém da forma que está. Na segunda imagem, com uma bolinha agindo haverá transferência de energia de uma para as outras, o que ocorrerá em todos os outros casos, variando porém o número de bolinhas em movimento provocará maior mudança na que está parada (*status 2*).
36. Na 1ª, a energia é nula, pois não realiza trabalho. A cada figura o trabalho realizado é maior (mais pêndulos são puxados), portanto a energia aplicada no sistema aumenta a cada imagem (*status 2*).

37. No pêndulo de Newton se a energia transferida ao sistema for mantida sem que haja a perda dessa, o pêndulo tende a realizar o movimento das situações das figuras infinitamente (*status 2*).
38. 1ª – A última bolinha e a primeira ficam paradas, e o resto também. 2ª – A primeira e a última se movem. 3ª as duas de cada ponta se movem. 4ª – todas se movem, porém quando 3 batem, 3 ficam em repouso. 5ª, após a colisão 2 se movem e ao voltar todas se movem. 5ª – ao bater a primeira todas se movem juntas (*status 1*).
39. 1ª – não há energia. 2ª, 3ª, 4ª – A colisão de uma bolinha nas outras faz com que sua energia passe por todas e na última irá se soltar das outras devido a energia transmitida pela primeira. 5ª, 6ª – como a energia é maior na colisão o número de bolinhas que estavam paradas refletem do outro lado ocorrendo a parada dela (*status 2*).
40. Nas situações acima, o que está ocorrendo é a passagem de energia entre as bolinhas. Na primeira situação todas as bolinhas estão em repouso, uma delas é solta essa atrai as outras e depois a energia desses corpos é liberada, ocorrendo do lado oposto a mesma coisa (*status 2*).
41. Na primeira situação, todas elas encontram-se em situação de repouso. Na segunda e na terceira, assim como nos outros casos restantes, quando as bolinhas colidem há uma transferência de energia entre elas, fazendo com que todas se mexam (*status 2*).
42. Na primeira situação tendem a ficar parada. E em todas as outras, os pêndulos que fazem um grau diferente de 90, pode se soltar e entrar de encontro com os que estão parados, e fazem com que esses, também entrem em movimento (*status 1*).
43. As bolinhas receberam energia e então, cada uma foi empurrando a outra, transferindo energia assim tem o movimento. Uma bolinha vai transferindo energia para a próxima bolinha e assim em cada situação uma bolinha vai levantando com a energia que recebeu da bolinha anterior. Até a situação 6 na qual as 5 bolinhas levantam e a última não, pois não tem outras bolinhas atrás dela, transferindo energia para ela se levantar (*status 2*).
44. Num primeiro momento todos os pêndulos encontram-se neutros, até que um foi eletrizado por indução. Como nesse tipo de eletrização ocorre a formação de pólos de cargas elétricas, essas acabam por eletrizar o

pêndulo que está ao seu lado, através da atração entre cargas opostas (*status 1*).

- 45.1. energia conservada (não acontece nada). 2. **energia cinética e potencial (a primeira bola se eleva)**. 3. O dobro da energia pode ser passada para as outras bolas paradas até então. As duas bolinhas primeiras se movem, contrapondo as duas últimas movimentadas. 4. Assim que o s três últimas colidem com as primeiras, as três primeiras se movimentam. As duas primeiras são movimentadas após a colisão. 6. A única restante se movimenta (*status 1*).
46. Em cada uma das situações, a energia é passada de um pêndulo para o outro, conforme acontece o 1º empurrão no 1º pêndulo, essa energia do 1º, é passado para o 2º, 3º e assim por diante, até chegar ao último e ocorrer o movimento voltando para o 1º, como estas transmitem energia uma para a outra, essa não se perde, fazendo com que elas continuem se mexendo (*status 2*).
47. No caso representado a energia que é colocada na última bolinha da direita para que ela se mova, atrai as outras, pois a energia está variando, devido ao movimento e o trabalho realizado (*status 2*).
48. Conforme um pêndulo tem o movimento com a ação da energia ele vai ter colisão com que sua energia se transfira para os outros, por contato, e então todos acabem realizando o mesmo movimento (*status 2*).
49. Na primeira situação os pêndulos tendem ficar em repouso, já que não há **nenhuma energia no sistema atuando sobre eles**. Já nos casos seguintes (2, 3, 4, 5 e 6) a energia do pêndulo em movimento será transmitida para os outros ao se chocarem, porém a única diferença é que conforme maior for o número de pêndulos em movimento, maior será a energia transmitida para o que está em repouso (*status 2*). **(Modelo Mental)**
50. Na primeira situação os corpos ficam em equilíbrio, na segunda ao a bolinha bater nas outras há uma transmissão de energia, provocando uma vibração gerando um movimento só que menor que nos 3º, 4º, 5º e 6º situação onde a transmissão de energia é maior e portanto maior vai ser o movimento, isso devido ao aumento do número de bolinhas que são soltas para haver o choque (colisão) (*status 2*).

51. Na primeira situação, os pêndulos estão parados pois não há nada interferindo, já na segunda situação, um pêndulo está em movimento, portanto tem energia, que vai bater nos outros pêndulos e vai transmitir essa energia, que vai fazer com que os outros pêndulos também entrem em movimento, e isso vai ocorrer nas outras situações também (*status 3*).
52. Há uma transferência de energia mecânica, quando a primeira bolinha colide com a segunda e assim por diante, até que toda a energia é dissipada, e as bolinhas param de se movimentar (*status 3*).
53. Na primeira situação, o sistema está em equilíbrio. No 2º caso há a projeção de uma força no pêndulo, e segundo a teoria de Newton a energia nunca se perde ela se transforma, portanto a partir do 3º caso haverá colisões entre as bolinhas que transmite uma para outra quantidade de movimentos, energia, até que o sistema retome o equilíbrio, todas as bolinhas do pêndulo fiquem paradas (*status 2*).
54. Os pêndulos ao serem levantados ganham energia mecânica, ao se colidirem com os restantes das bolinhas, a energia será passada de uma a outra e movimentará certa quantidade do outro lado, dependendo da quantidade de energia (*status 2*).

Fundamentos da Mecânica (noturno):

1. (*status 0*)
2. Quando você projeta com um ângulo uma ou mais esferas a energia é transmitida para as outras esferas desprezando a deformação elástica e plástica (*status 2*)
3. Uma bola se choca com a seguinte e a transferência de energia faz com que haja rebatimento entre as bolas e elas carreguem energia para o deslocamento (*status 2*)
4. (*status 0*)
5. Quanto mais pêndulos são postos em movimento, maior o tempo que demorarão para parar (*status 1*)
6. O 1º caso o sistema está em repouso já no 2º houve um ganho de energia na última bolinha, ocasionada pela movimentação da 1ª bolinha (*status 1*)
7. (*status 0*)
8. As esferas estão sendo carregadas com cargas negativas e positivas, quando são de menos carga se repelem (*status 1*)
9. 1 – repouso; 2 – só a primeira bola do pêndulo se move; 3 – as duas primeiras bolas se moverão; 4 – as três primeiras bolas se moverão; 5 – as duas primeiras bolas se moverão; 6 – a primeira bola se moverá (*status 1*)
10. Na primeira as bolas ficarão estáticas, 2º: as bolas à esquerda ficarão estáticas enquanto a bola da direita oscila, na 3ª a colisão irá causar forte movimento para as 2 bolas inicialmente em repouso, assim como na 4ª, que irá haver uma colisão parcialmente elástica (*status 2*)
11. (*status 0*)
12. (*status 0*)
13. I) Equilíbrio inerte, no segundo em sua evolução mostra a energia relacionada ao movimento e a massa em cada situação, se mantendo a proporção da massa sugerida pelo número de esferas em movimento. Portanto temos uma graduação de energia crescente que nos conduz a $\frac{1}{2}mv^2$. Sendo que em cada sistema há, com desprezo do atrito, conservação da energia (*status 1*)

14. 1) repouso: não há energia em uso aqui; 2) bolinha erguida ela está acima nela está contida energia que será usada em breve; 3) interrompido pois a bolinha está no meio nada pode fazer para passar adiante (*status 1*)
15. 1) não acontece nada no máximo a bolinha cai por não ter fio; 2) a bolinha transfere energia para as outras se for perfeitamente elástica e a bolinha da esquerda levanta; 3) se for perfeitamente elástica 2 bolinhas a esquerda levantam; 4) se for perfeitamente elástica 3 bolinhas a esquerda levantam; 5) 2 bolinhas levantam se for perfeitamente elástica, mas levantam com o dobro da energia que duas causaria; 6) perfeitamente elástica levantaria com 5 vezes a energia que uma causaria (*status 2*)
16. Em (1) o sistema não possui energia. Foi introduzida energia mecânica na primeira bola a esquerda de modo que houve transferência de momento até a última bola. Como esta estava livre para se locomover então a mesma executou movimento. Consequentemente em 3, 4, 5 e 6 devido a quantidade de energia que havia sido introduzido no sistema as outras bolas possuíam energia suficiente para executar movimento (*status 2*).

Corpos Rígidos e Flúidos (manhã):

1. No 1º o sistema está em equilíbrio, no 2º, 3º, 4º, 5º a energia do sistema se conserva (*status 2*)
2. 1) energia total do sistema em cada figura a partir da segunda ocorre um acréscimo de energia, uma vez que o movimento está ligada a energia cinética (*status 2*)
3. 1: equilíbrio total, 2: com pouca energia só vai levantar um pouco as outras bolas, 3: energia ainda é insuficiente para fazer o sistema se movimentar, 4: o sistema entra em movimento, 5: tem um aumento de colisões até parar, 6: o sistema vai ficar balançando um bom tempo (*status 1*)
4. A energia cinética das bolinhas levantadas é transferida para todas as 5 bolinhas. Assim, serão “lançadas” para cima o mesmo número de bolinhas que foram erguidas (*status 2*)
5. 1) As bolinhas possuem energia potencial e o sistema permanece nesse estado, 2) a energia cinética se transfere para as bolinhas e levanta a da esquerda, as duas bolinhas do lado esquerdo levantam, 4) o conjunto de três bolinhas paradas são movimentadas, 5) duas da direita param e as demais adquirem movimento; 6) a bolinha do lado direito para (*status 2*)
6. 1º o sistema não deforma o meio portanto fica parado; 2º um corpo se movimenta e para conservar o sistema, ao soltar a bolinha uma outra bolinha se move em direção contrária, 3º o que acontece com os outros, sempre se movimentam contrário, para conservar a energia do sistema (*status 1*)
7. (*status 0*)
8. Devido a conservação da energia, se o pêndulo está em repouso, assim continuarão. Se levantar uma bolinha, durante o choque, essa energia será usada para erguer uma bolinha do outro lado, a mesma altura, devido a conservação de energia. Ao erguer duas bolinhas (aplicando uma energia mecânica), após a colisão, essa energia erguerá apenas duas bolinhas do outro lado (*status 3*)
9. 1 – nada acontece; 2 – 1 bola do lado oposto (esquerdo) vai se mover. As outras ficam paradas; 3 – 2 bolas do lado oposto (esquerdo) vão se mover.

- As outras ficam paradas; 4 – 3 bolas do lado oposto (esquerdo) vão se mover. As outras ficam paradas; 5 e 6 – não tenho certeza (*status 1*)
10. 1º fica parada não haverá energia mecânica; 2º haverá uma pequena energia mecânica que chamarei de 1E; 3º haverá uma energia próximo a 2E; 4º haverá uma energia próximo a 3E; 5º haverá uma energia próximo a 4E; 6º haverá uma energia próximo a 5E. Considerando que o centro de massa dos pêndulos levantados é que teriam se deslocado horizontalmente igual ao quadrinho (*status 2*)
11. 1) só há energia potencial; 2) o movimento de um dos pêndulos provoca um pequeno deslocamento no pêndulo do lado. Quanto maior a quantidade de pêndulos em movimento maior o movimento, maior o deslocamento (*status 1*)
12. Na primeira situação como não há perturbação nas bolinhas elas ficaram paradas com sua energia potencial da mesma forma. No segundo uma bolinha acumula uma energia maior que as demais e ao se chocar irá transmitir para as outras bolinhas até a energia chegar na última bolinha aumentando sua energia assim a última irá levantar. Nos demais quadros ocorre a mesma coisa, porém o número de bolinhas que irá subir varia de acordo com o número de bolinhas que irá ser levantada inicialmente (*status 2*)
13. Na primeira situação não consigo visualizar energia neste sistema, mas em 2 foi cedida energia à uma bolinha e quando ela entrar em contato com as outras, apenas 1 bolinha do outro extremo entrará em movimento. Assim, em 3, foi cedida energia à duas bolinhas e no outro extremo, outras duas entrarão em movimento. Assim, sucessivamente acontecerá com todas as outras situações. Quando as bolinhas entram em contato com as outras, há uma transferência de energia entre elas (*status 2*)
14. (*status 0*)
15. Em cada uma das situações a quantidade de bolinhas que for elevada para ser solta e bater nas demais vai ser a mesma que a de bolinhas que vão subir no final (*status 1*)
16. Observando as figuras acima, podemos inferir que nas situações em que o pêndulo se encontra inclinada, teremos transformação de energia potencial em energia cinética com o passar do tempo juntamente, com colisões

inelásticas que faram com que os pêndulos fiquem parados ao passar um certo tempo (*status 3*)

17. Na 1ª situação como não há alteração da energia o sistema permanece com as bolas no mesmo lugar. No 2º o momento antes é igual ao depois então na direita vai levantar apenas uma bola com a mesma quantidade de movimento da bola da esquerda. No 3º no lado esquerdo levantará 2 bolas. No 4º no lado esquerdo levantará 3 bolas (*status 1*)

Corpos Rígidos e Fluídos (noturno):

1. (1) o sistema está em repouso. (2) há um corpo em movimento, ao retornar este irá aplicar uma força no corpo consequente, que pela 3ª lei de Newton (ação-reação) irá aplicar estas forças aos demais corpos, fazendo com que o a bolinha da outra extremidade “suba”. (3) ocorre o mesmo que em (2) porém 2 bolinhas da outra extremidade “sobe”. (4) o mesmo que em (3) agora são 3 bolinhas que “sobem”. (5) o mesmo que em (4) porém as duas bolinhas da extremidade vão subir com v. (6) subirá com maior v e serão (3) (*status* 1).
2. (*status* 0).
3. (*status* 0).
4. Quando uma das bolinhas é desprendida de uma certa altura “h”, o sistema adquire energia potencial e cinética. Esta energia é transmitida as outras bolinhas a perda delas se chocam, causando colisões elásticas (*status* 3).
5. (*status* 0).
6. Está havendo conservação do momento (*status* 2).
7. (*status* 0).
8. Situação 1: não houve colisão; situação 2: uma bola colidiu; situação 3: duas bolas colidiram; situação 4: três bolas colidiram (*status* 1).
9. colisões elásticas (*status* 2).
10. 1: nada ocorre; 2: o primeiro e o último pêndulo realizarão movimento; 4: energia mecânica conservada (*status* 1).
11. Nas seis situações temos a conservação de energia e consequentemente a conservação da quantidade de momento linear (*status* 2).
12. A-> se inicialmente estão com velocidade nula em relação ao solo, permanecerão assim. energia mínima; B-> Em algum momento a energia da bolinha que está no alto será convertida em energia cinética e quando esta “baixar” alguma outra, de mesma massa precisará subir a mesma altura para manter o nível de energia $mv^2/2$. Os outros casos são análogos com m maior (*status* 3).
13. 1º imóvel energia estável. 2ª energia potencial onde cairá e transmitirá energia às outras. 3ª alguém aplicou uma força nas duas bolas para direita. 4º alguém aplicou uma força nas duas três bolas para direita. 5º alguém

- aplicou uma força nas quatro bolas para direita. 6º alguém aplicou uma força nas cinco bolas para direita. Em 2 pode ter sido a transferência de energia da 1ª bola da esquerda que foi transmitindo a energia até a bola da extrema direita (*status 2*).
- 14.1 – não houve variação de energia; 2 – a energia cinética da primeira bola solta de altura h se conserva; 3 – não existe conservação de energia; 4 – as energias são iguais; 5 – as massas das duas bolas tem que ser equivalentes as 4 para conservar energia; 6 – não há conservação (*status 1*).
15. Cada bolinha tem um pouco de energia ao ser movida. Na hora ela bate uma na outra, há transferência de energia para a bola do outro extremo, fazendo com que a última bolinha entre em movimento (*status 2*).
16. (*status 0*).
17. Em cada situação, o número de bolinhas que sobe novamente é o mesmo que está em movimento nas figuras. Apenas na situação * (três bolinhas em movimento e três paradas – grifo meu) as bolinhas sobem mesma altura que o de queda, com $v_i = v_f$ (velocidade) (*status 1*).
18. (1) repouso ou instante de colisão. (2) momento imediatamente antes da colisão. (3) momento antes da colisão de duas das bolas. (4) momento antes da colisão de três bolas. (5) momento antes da colisão de quatro bolas. (6) momento antes da colisão de cinco bolas (*status 1*).
19. 1 quadro – nada; 2º quadro – a primeira bolinha da esquerda vai entrar em movimento; 3º quadro – 2 bolinhas vão entrar em movimento; 4º quadro – hora 3 bolinhas vão estar em movimento, hora as outras 3; 5º quadro -> as duas do meio sempre vão estar em movimento; 6º quadro -> 4 sempre estarão em movimento (*status 1*).
20. (1) não há transferência de energia; (2) a energia do 1º pêndulo é transferida até chegar ao 6º pêndulo; (3) a energia dos 2 1ºs pêndulos é transferida para os 2 últimos; (4) a energia dos 3 1ºs pêndulos é transferida para os 3 últimos (*status 2*).
21. 1 – Não há movimento, logo não há gasto de energia; 2 – a primeira esfera, da esquerda para a direita, deve ter sido erguida e solta, batendo na esfera seguinte e transferindo a energia até a última esfera erguendo-a. 3, 4, 5, 6 – se repete o caso da 2, mudando-se a quantidade de esferas.

Desconsiderando-se o atrito com o ar, este movimento é perpétuo, havendo sempre transferência de energia entre as esferas, conservando a energia $E_i = E_f$ (*status 3*).

22. As bolinhas lançadas voltam conforme são soltas na mesma quantidade (*status 1*).

Termo-Estatística (diurno):

1. Nada; uma bolinha se mexer do lado oposto; duas se mexem; três; quatro; cinco (*status 1*)
2. Quando erguemos a bolinha damos ao sistema energia, ou seja, energia potencial a uma altura h que depois se transforma em energia cinética, que vão colidir com as outras bolas paradas, passa a energia acumulada para as bolinhas paradas com mesma intensidade (*status 3*)
3. Na primeira não ocorre nada. Na segunda e assim por diante, a energia adquirida é transferida para as demais bolinhas. A única diferença é que essa energia está aumentando pois a massa está relacionada com a quantidade de movimento (*status 3*)
4. A energia será transferida de bolinha em bolinha (*status 2*)
5. Para cada uma delas, o número de esferas que sairá do bloco é igual ao número daquelas chocando-se contra ele: por causa da conservação da energia mecânica (*status 3*)
6. 1) sistema permanecerá em repouso, 2) as bolinhas das extremidades ficará oscilando, 3) as 2 bolinhas de cada extremidade oscilarão, metade das bolinhas oscilarão, 4) metade das bolinhas oscilarão por vez, 5) das 4 bolinhas em movimento, 2 ficarão paradas e as outras 4 oscilarão após a colisão, 6) das 5 em movimento, uma ficará parada após a colisão e as outras oscilarão com a bolinha que está parada (*status 1*)
7. Inicialmente o pêndulo está em repouso, depois a primeira esfera da direita, ao ser levantada, tem uma certa energia potencial que irá se transformar em cinética até colidir com as outras esferas e transferir sua energia para elas. Quando as esferas voltam a energia transferida na colisão irá movimentar duas esferas para a direita e assim por diante (*status 3*)
8. Supondo colisões totalmente elásticas a energia mecânica irá se conservar. Assim, quando em certo número de pêndulos batem de um lado, estes param e o mesmo número anda do outro lado com as mesmas velocidades. Nos quadros 5 e 6 os pêndulos que passam a andar tem uma velocidade maior do que aqueles que bateram nele (*status 2*)
9. (*status 0*)

10. 1º analisando apenas o movimento não há trocas de energia; 2º a esfera da esquerda transmitirá energia para todas as esferas até chegar na última da direita que realiza o movimento; 3º agora acontece o mesmo que no item anterior, mas com 2 esferas; 4º agora com 3 esferas; 5º agora com 4 esferas; 6º agora com seis. Todas as colisões teoricamente são perfeitamente elásticas, mas na realizada há uma dissipação de energia na forma de som e calor (*status 4*)
11. Como a energia se conserva, ao soltar uma certa quantidade de massa que inicialmente está com energia potencial e passa ter energia cinética, essa energia será transferida para os outros corpos, deslocando a mesma quantidade de energia que havia no início. Desconsiderando vários fatores externos, como pressão, deposição (illegível), força, peso devido a gravidade, este movimento pendular nunca cessará (*status 4 - confuso*)
12. Podemos dizer que a medida que se aumenta o número de pêndulos em movimento a quantidade de energia utilizada também será maior. Portanto podemos dizer isso em termos de energia: $E_{vi} > E_v > E_{iv} > E_{iii} > E_{ii} > E_i$ (*status 2*)
13. A energia presente não se altera nada ocorre; 2) haverá deslocamento de 1 pêndulo à esquerda; 3) haverá deslocamento 2 pêndulo à esquerda; 4), 5), 6) haverá deslocamento de 1 pêndulo à esquerda (*status 1*).

Termodinâmica (diurno):

1. Por conservação de energia cinética e potencial, a última bola irá se deslocar, pois a única bola que se deslocou irá transferir momento e assim ocorre com 3), 4) 5) e 6), onde a transferência de momento irá fazer com que as outras bolas se desloquem (*status 2*).
2. Usaria o conceito de momento linear, mas... 1º nada ocorre, 2º última bolinha vai ir sair (ilegível); 3º 2 últimas bolinhas sairão; 4º 3 últimas bolinhas sairão; 5º 2 última sairão e 2 em movimento sairá (ilegível...); 6º 1 última bolinha sai e 4 em movimento saem (*status 2*).
3. (*status 0*)
4. 1) repouso; 2), 3), 4), 5) e 6) conservação da energia porém com perdas devido ao atrito do ar, cte de elasticidade do fio de os segura e etc... (*status 2*)
5. 1) O sistema ficará em repouso; 2) O sistema sempre ficará com 1 massa oscilando; 3) O sistema sempre ficará com 2 massas oscilando; 4) O sistema sempre ficará com 3 massas oscilando; 5) O sistema sempre ficará com 4 massas oscilando; 6) O sistema sempre ficará com 5 massas oscilando. Pois a energia cinética + potencial e não houver atrito de forças dissipativas, se conservarão, fazendo com que outras massas entre em movimento (*status 4*)
6. Situação 1 -> continua parado; demais situações: a energia potencial das N bolinhas elevadas, se transformam em energia cinética, e no momento da colisão essa energia é transmitida, fazendo com que N bolinhas adquiram a mesma energia cinética, elevando-se a uma altura similar a inicial (*status 4*)
7. (*status 0*)
8. A figura 1 mostra as bolinhas em equilíbrio do potencial. Dependendo da energia cinética inicial, há movimento ou não delas. As outras figuras mostram ao menos uma bola deslocada do equilíbrio, do potencial, havendo oscilação e choques elásticos entre elas (*status 2*)
9. 1 – nada ocorre; 2 – a bolinha com movimento choca-se com as 5 que estão em repouso transmitindo movimento de uma para outra até que a mais a esquerda entre em movimento; 3 – a mesma resposta que a anterior mas com 2 bolas; 4 – a mesma resposta que a anterior mas com 3 bolas; 5

- após a colisão todas as bolas moverão mas com velocidade menor; 6 – idem a anterior (*status 1*)
- 10.1) não acontece nada; 2) a bola da esquerda sobe; 3) as duas bolas da esquerda sobem; 4) as três bolas da esquerda sobem; 5) as duas bolas da esquerda sobem numa altura maior; 6) a bola da esquerda sobe numa altura menor que 5) (*status 1*)
- 11. Ao colidir haverá a transferência de energia e quantidade de movimento, para que ocorra a conservação: 2): o sistema oscilará com as esferas do extremo; 3) o sistema oscilará com as duas esferas nos extremos; 4) o sistema oscilará com as três esferas nos extremos; 5) o sistema oscilará com as quatro esferas nos extremos; 6) o sistema oscilará com as cinco esferas nos extremos (*status 3*)
- 12. Pela conservação de energia $m_1gh_1 = \frac{1}{2} m_1v^2$, onde m_1 é a massa das bolas erguidas, e, $m_1gh_1 = m_2gh_2$, onde h_1 e h_2 são as alturas máximas dos grupos de bolas (*status 3*)

Termodinâmica (noturno):

1. Nas situações em que até 3 corpos são deslocados, o sistema pode oscilar com choques elásticos, ou seja, a energia transferida para os corpos em repouso pode ser igualada pela energia potencial inicial. Nos demais casos, as esferas deslocadas porão as outras em movimento e continuarão acompanhando-as de forma que a energia se conserve (*status 2*).
2. (*status 0*).
3. 1: Pendulos em repouso ou no instante da colisão ($E_c = 0$). 2: 1 pendulo em movimento, pois a energia só é suficiente para tal ($E = E_0$). 3: 2 pendulos se movimentam, pois a energia só é suficiente para tal ($E = 2E_0$). 4: 3 pendulos se movimentam, pois a energia só é suficiente para tal ($E = 3E_0$). 5: 4 pendulos se movimentam, pois a energia só é suficiente para tal ($E = 4E_0$). 6: 5 pendulos se movimentam, pois a energia só é suficiente para tal ($E = 5E_0$) (*status 2*).
4. 1 – Como não há nenhuma esfera em movimento, só há energia potencial no sistema. E como não há variação de altura, elas permanecem paradas; 2, 3, 4, 5 e 6 – Nestes casos há uma energia que, a princípio, deverá ser conservada. Como a energia em questão é a cinética, que depende somente da velocidade e massa de cada uma das esferas, a situação seguinte aos casos é que o mesmo número de esferas será lançada do outro lado, com a mesma velocidade. Por causa da conversão de energia potencial-cinética, o sistema teoricamente ficaria oscilando sempre com o mesmo número de esferas em movimento (*status 3*).
5. (*status 0*).
6. 1 – O sistema permanece parado. 2 – Após a colisão 1 bola se eleva do lado esquerdo enquanto 5 permanecem paradas. 3, 4, 5 e 6 – O padrão da situação “2” se mantém. Certa quantidade de bolas se chocam do lado direito. Para conservar a energia mecânica, a mesma quantidade de bolas se ergue do lado esquerdo (*status 3*).
7. (1) Continuará em repouso. (2) Após a colisão, a bolinha número 1 terá movimento idêntico (com sentido contrário) à da bolinha 6. (3) Após a colisão, bolinhas 1 e 2 terão movimento igual e em sentido oposto às 5 e 6. (4), (5) e (6) análogas às respostas (2) e (3). Os casos de (2) – (6) para

colisões perfeitamente elásticas: o movimento continuará até que sejam aplicadas forças. Para colisões inelásticas: o movimento não continuará; para colisões parcialmente elásticas: o movimento ocorrerá algumas vezes, perderá energia para o meio e parará (*status 3*).

8. 1 -> permanecerá parado. 2 -> a bolinha A se moverá para a direita. 3 -> as bolinhas A e B se moverão para a direita. 4 -> as bolinhas A, B, C se moverão, e as outras ficarão em repouso. 5 -> as bolinhas A, B se moverão mais, e a C, menos, para esquerda. 6 -> somente a bolinha F ficará parada (*status 1*).
9. a) permanecem no mesmo estado; b) o pêndulo da esquerda moverá-se com a mesma energia do pêndulo incidente; c) os dois pêndulos da esquerda movem-se com as mesmas energia dos 2 primeiros pêndulos incidentes, e os dois centrais mantem-se parados; d) os 3 primeiros pêndulos da esquerda movem-se , enquanto os 3 incidentes ficarão parados; 3) os 6 pêndulos movem-se para esquerda. Os dois da esquerda terão velocidade 2 vezes do grupo de 4 pêndulos; f) o pêndulo da esquerda terá 2 vezes a velocidade do grupo (*status 1*).
10. Temos a energia (potencial) se transformando energia cinética e ao chocar a bolinha transfere parte dessa energia (cinética) para a bolinha adjacente se a energia for igual das 2 bolinhas elas andarão juntas senão elas se separarão (*status 3*).
11. Velocidade dos pêndulos é zero: energia cinética zero, no ponto mais alto: isto pode estar ocorrendo nas figuras 2, 3, 4, 5, 6 (*status 2*).
12. 1: Nada (fica como está); 2: A bola 6 retorna e colidir com 5 e 1 se afastar de 2 (uma bola colide e lança uma bola); 3: 5 e 6 voltaram a posição inicial fazendo 1 e 2 moverem (duas bolas colidem); 4: idem a anterior porém as três; 5: nunca fiz esta mas imagino (*status 1*).

Mecânica 2 (diurno):

1. i) não há perturbação no sistema, se nada ocorrer, ele permanece do jeito que está. ii) para garantir a conservação de energia e momento, somente a massa mais à esquerda terá um movimento espelhado ao movimento da massinha mais à direita. iii) as duas massinhas mais à esquerda terão movimento espelhado ao movimento das massinhas mais à direita. iv) mesma coisa: as 3 massinhas mais à esquerda terão movimento espelhado às 3 massinhas à direita. v) após a colisão, as duas massinhas à direita adquirem movimento espelhado às massinhas da direita, e as duas massinhas do meio realizam sempre esse movimento sem ambas. vi) análogo, mas dessa vez as 4 massinhas do meio tem um movimento pêndulo contínuo (*status 1*).
2. conservação da energia (*status 2*).
3. Em todas as situações o sistema tende para a configuração de menor energia potencial, mas como em primeira aproximação não há dissipação desta energia os sistemas que não estão em equilíbrio irão oscilar (*status 2*).
4. 1 - Os pêndulos podem estar parados ou no instante da colisão, ou seja, com ou sem energia cinética. Em todas as outras situações o pêndulo tem energia potencial e, dependendo da sua energia cinética irá para a esquerda ou para direita (*status 2*).
5. 1 Sistema em equilíbrio estático. 2 a energia gravitacional vira cinética e é transferida por colisão para bola seguinte sendo a da ponta convertida novamente, 2 e 3 a situação é parecida mas com mais bola ao mesmo tempo. 4 e 5 as mais centrais transferem para uma ponta e instantaneamente recebem a mesma quantidade da outra ponta (*status 2*).
6. (1) os pêndulos continuarão do jeito que estão pois não há força atuando. (2) e (3) como existem mais pêndulos parados do que em movimento, os pêndulos parados sofrerão pequena oscilação. (4), (5) e (6) sofrerão oscilação maior em exceção da primeira, todas as outras continuarão oscilando se não houver intervenção (*status 1*).
7. (1): sistema está em equilíbrio estável e assim continuará. (2), (3), (4), (5) e (6) haverá um movimento oscilatório a energia pontual das n bolas tiradas

do equilíbrio se transformará em energia cinética e esta em energia potencial novamente fazendo o mesmo número n de bolas subir do outro lado. Se não houvesse dissipação de energia esta aconteceria indefinidamente, como há, as amplitudes ficarão cada vez menores (*status 3*).

8. No primeiro o sistema fica em repouso. Segundo -> o pêndulo da direita tem uma energia potencial armazenada, ao ser solto essa se transforma em energia cinética e ao colidir com a bola vizinha transfere essa energia que por sua vez transfere a sua vizinha e isso acontece até a última bola do lado esquerdo. Nos outros quadros acontece o mesmo que o segundo, somente muda a energia cinética de colisão (aumenta pois tem mais massa) (*status 3*).
9. Considerando o zero do potencial gravitacional nas posições iniciais. 1º quadro: equilíbrio com energia nula e ausência de movimento. 2º quadro: equilíbrio estável. energia será transmitida e fará as bolinhas da ponta oscilarem. 3º quadro: equilíbrio estável. energia será transmitida e fará as 2 bolinhas da ponta oscilarem. 4º quadro: Equilíbrio estável. energia será transmitida e fará as 6 bolinhas oscilarem (3 a 3). 5º quadro: As duas bolinhas oscilarão diferente das outras 4. 6º quadro. A bolinha sozinha oscilará diferente das outras 5 (*status 3*).
10. Considerando os sistemas isolados, mas com campo gravitacional. Fig.1: É um equilíbrio estável, nada irá ocorrer. Fig. 2: O momento do corpo (6) será transmitido para o (1) através das demais. Fig. 3: O mesmo de 2, mas considerando (5) e (6) como um corpo e (1) e (2) como o que “saltará”. Fig. 4: O mesmo mas considerando (1) (2) (3) como um corpo e (4) (5) (6) como o outro. Fig. 5: os corpos (3) (4) (5) (6) transmitem momento para (1) (2) (3) (4), podemos interpretar de vários modos mas o fato é que hora o corpo (1) (2) está parado, hora o (5) (6). Fig. 6: O mesmo que o caso anterior mas com as bolinhas (5) e (2) sempre se movendo hora o corpo (1) não se move, hora o (6) (*status 1*).
11. (1): Nada ocorre, a única energia das esferas aqui é a potencial. (2) A esfera adquire energia potencial suficiente para, após a colisão, e após as sucessivas colisões das outras esferas, erguer apenas 1 esfera até a altura inicial. (3) o mesmo do caso anterior, só que erguendo 2 bolinhas no final, e

nas (4) ocorre o mesmo, só que erguendo 3 bolinhas. Em (5) temos que o sistema possui energia para erguer 4 bolinhas, e estas serão, após a colisão, as 2 da esquerda e as 2 do meio, o mesmo ocorre em (6), só que aqui serão 5 bolinhas (*status* 1).

Disciplina/Curso	Turno	N (%)	0	1	2	3	4	5
Ensino Médio	M	54 (100,0)	6(11,1)	13(24,1)	29(53,7)	6(11,1)		
Fundamentos de Mecânica	N	16 (100,0)	6(37,6)	5(31,2)	5(31,2)			
Corpos Rígidos e Fluídos	M	17 (100,0)	2(11,8)	6(35,3)	7(41,1)	2(11,8)		
Corpos Rígidos e Fluídos	N	22 (100,0)	5(22,7)	7(31,8)	7(31,8)	3(13,7)		
Termo-Estatística	M	13 (100,0)	1(7,7)	3(23,1)	3(23,1)	4(30,8)	2(15,3)	
Mecânica 2	M	12 (100,0)		4(33,3)	5(41,7)	3(25)		
Termodinâmica	M	12 (100,0)	2(16,7)	2(16,7)	4(33,2)	2(16,7)	2(16,7)	
Termodinâmica	N	12 (100,0)	2(16,7)	3(25)	3(25)	4(33,3)		

Questão 4

Ensino Médio (Colégio Parthenon):

1. Na primeira situação observamos que atingirá o solo antes (ou em menor tempo) do que o outro bloco, pois não há uma força que impeça o movimento. Na segunda situação há atrito, diminuindo a velocidade do bloco, bem com concluímos o aumento do tempo que leva para alcançar o solo (*status 2*).
2. (*status 0*)
3. A falta de atrito no primeiro sistema faz com que a velocidade d chegada ao chão seja maior do que no segundo sistema, que possuir desacelera pelo atrito, chegando ao chão com menor energia cinética (*status 2*).
4. Na situação um, o bloquinho não possui atrito, então não possui “uma força que a puxe” para o lado oposto ao que está indo. Já na 2, há atrito então, conseqüentemente, ele chegará no “final” depois do bloco que está na superfície lisa (*status 2*).
5. Na superfície lisa o bloco deslizará sem perdas significativas de energia. Na superfície com atrito haverá perda de energia quando o bloco descer sobre ela (*status 3*).
6. Na primeira situação o bloco desce acelerado e a energia conserva-se e o bloco desce com uma força contra a aceleração (*status 2*).
7. Na superfície lisa não haverá nada que interfira no movimento, portanto, a única força atuante no bloco é P_x , assim, a velocidade será maior e terá mais energia cinética (*status 2*).
8. O bloco da superfície áspera demora mais tempo para atingir o fim da rampa, pois com o atrito ele perde energia e desenvolve uma menor velocidade (*status 3*).
9. A energia utilizada na segunda situação será maior do que a utilizada na primeira situação, pois no segundo é necessário aplica uma maior energia para que o bloco desça pela superfície áspera, pois ocorrerá atrito entre esses. Enquanto no primeiro caso, a energia será bem menor, já que sem o atrito o bloco desliza pela superfície (*status 3*).

10. O bloco que está em uma superfície lisa cairá mais rápido, pois só a energia potencial “agirá” ele e nenhuma força contrária à queda retardará sem movimento (*status 2*).
11. A energia no primeiro caso será maior do que a energia do bloco no segundo caso, isso porque o atrito presente no segundo irá impedir que a velocidade seja adquirida eficazmente, ou seja, a energia final será menor do que seria se a superfície fosse lisa (*status 3*).
12. Na superfície lisa, o bloco chegará ao nível do chão mais rápido, primeiramente por não possuir atrito no trajeto, e depois pelo fato de não possuir atrito, a sua energia não será dissipada. Na superfície áspera, ocorrerá o inverso da superfície lisa (*status 3*).
13. Na superfície lisa pela lei da inércia o corpo tende em permanecer em movimento até que outra força interfira nesse corpo. Já no segundo experimento depende da força de atrito que atua no corpo ($\mu \cdot N$) e o P_x ($N \cdot \sin \theta$), se o P_x for maior que o F_{at} haverá movimento, caso contrário não (*status 3*).
14. A força de atrito agirá sobre o bloco de modo a dificultar o movimento e diminuir a velocidade de ação do bloco. Na outra situação, sem atrito, não teremos força que impedem a conservação de energia (*status 3*).
15. O primeiro bloco vai cair em movimento a uniformemente acelerado, sem resistência. O segundo pode ficar parado, se o P_y (força que o bloco faz para baixo, na mesma direção da rampa) for maior que a força de atrito máxima; ou o bloco pode descer mas com uma velocidade de menor que o primeiro (*status 2*).
16. Na superfície lisa, o corpo não trocará energia nem com o plano (porque não tem atrito) nem com o meio. Já na superfície com atrito, o corpo troca energia com o plano com atrito, fazendo com que ele tenda a parar mais rápido (*status 3*).
17. O primeiro bloco deslizará sem uma força contrária agindo sobre ele, **gerando menos energia**. O segundo sofrerá uma força contrária pelo atrito da superfície, gerando mais energia (*status 2*).
18. No primeiro caso a aceleração será positiva, desconsiderando a resistência do ar, pois não há atrito. Já no segundo caso como há atrito o corpo está sendo desacelerado até parar (*status 2*).

19. No ponto em que são abandonados, ambos blocos possuem a mesma energia mecânica. Entretanto, ao atingir o ponto mais baixo do plano inclinado, o bloco na superfície áspera possui menor energia mecânica, pois fora submetida à ação dissipativa do atrito (*status 3*).
20. A “produção” do movimento, causada pela energia irá se distinguir nesses dois casos pois, na superfície lisa não existe algo que impeça o movimento, diferentemente da superfície áspera, que tem o atrito que tentará diminuir o movimento do bloquinho (*status 2*).
21. No caso do plano inclinado áspero, há um atrito maior, o que vai fazer com que a velocidade do bloco seja menor do que o do bloco no plano inclinado de superfície lisa (*status 2*).
22. Ambos os blocos teram uma energia potencial, devido à força da gravidade, provocando o deslizamento, ou seja, ambos desciam, porém no segundo caso haverá uma força contrária do movimento que dificultará a descida do segundo bloco, o atrito (*status 2*).
23. Deve-se considerar em ambos os casos tanto a energia cinética, quanto a potencial. Como os blocos são idênticos, pode-se considerar que a energia potencial será a mesma. Porém, no segundo caso haverá força de atrito, o que diminuirá a velocidade do bloco e, conseqüentemente, a energia cinética (*status 3*).
24. No plano inclinado que não há atrito, não haverá transferência alguma de energia, fazendo com que o bloco desça com maior facilidade. No plano inclinado com atrito haverá uma dificuldade muito maior para o bloco chegar ao final do caminho, porque a energia do bloco será influenciada pela energia que o atrito tem (*status 3*).
25. Na superfície o bloco vai até o final da rampa sem perder energia. Já na com atrito, o bloco desce perdendo energia (*status 3*).
26. Na 1ª situação por não ter atrito, não terá energia proveniente do atrito apenas a cinética que vai fazer com que o bloco deslize. Na 2ª situação por ter atrito, terá energia em forma de calor se o bloco conseguir deslizar (isso dependerá do coeficiente de atrito do material que constitui o bloco), e energia cinética (*status 4*).
27. Na primeira situação como não há atrito, não tem nada que desacelere o bloquinho, nada que “absorva” energia dele, assim, a energia é conservada

- até o momento, que algo parar ele. Já na segunda situação como há atrito, ele irá “absorver” energia, o bloquinho vai desacelerar, pois a energia cinética não é conservada (*status 3*).
28. O bloco que está em cima da superfície lisa irá escorregar mais rápido que o bloco que está em cima da superfície áspera, já que na superfície áspera existe atrito, o que dificultará o escorregamento do bloco (*status 2*).
29. No primeiro plano o bloco deslizará mais facilmente do que no segundo, pois não há a presença de força de Atrito retardando o movimento. Com um tempo maior necessário para se chegar ao final do que plano, no segundo caso, sua energia será menor, pois foi se perdendo aos poucos (*status 3*).
30. Os dois corpos parados no topo possuem a mesma energia potencial, em movimento a energia cinética de um é menor que a do outro, pois na que está em movimento na superfície áspera terá sua energia dissipada (*status 3*).
31. O bloco sem atrito irá deslizar “para sempre”, pois não há atrito para que perca energia (transfira para o chão) enquanto que o bloco com atrito irá parar depois de um certo tempo devido a transferência de energia para o chão (*status 3*).
32. Na primeira situação o bloco irá deslizar, sem a perda de energia por causa que não há atrito entre a rampa e o bloco, continuando o seu percurso. Na segunda situação, o bloco também irá deslizar mais irá perder energia com a ação da força de atrito que fará o bloco parar num dado momento da sua trajetória (*status 3*).
33. Na 1ª situação onde não há atrito o bloco vai descer com uma velocidade normal que não se alterará devido a força de atrito. Enquanto na 2ª situação a velocidade sofrerá alteração, devido a força de atrito que existirá entre o bloco e a rampa (*status 2*).
34. No segundo caso por conta do atrito o bloco vai esquentar mais, ou seja, libera mais energia em forma de calor (*status 3*).
35. Na superfície lisa para haver o deslocamento desse bloco, é mais rapidamente pois não há perda de energia com o atrito. Já na superfície áspera, **há necessidade de um gasto energético** para retirar o bloco de cada elevação e buraco encontrados na rampa do bloco, ou seja, na superfície áspera há um gasto maior de energia (*status 2*). **(Modelo Mental)**

36. Na 1ª, por não haver atrito, o bloco irá escorregar com mais facilidade e velocidade que o 2º bloco (*status 2*).
37. Na situação da superfície lisa que não possui atrito o bloco vai deslizar mantendo a energia durante o movimento. Enquanto no bloco que está na superfície com atrito a energia para realizar a ação terá que compensar a força de atrito para deslizar sobre a rampa (*status 3*).
38. No primeiro plano a energia não sofrerá ação do atrito, logo ao descer o bloco irá descer com mais energia que o bloco 2 que desce com o atrito, diminuindo sua velocidade (*status 2*).
39. Na superfície lisa não irá ter atrito com isso irá ter menos resistência produzindo menos energia no sistema. Na superfície áspera há atrito assim tendo maior resistência fazendo com que produza maior energia no sistema (*status 2*). **(Modelo Mental)**
40. No primeiro bloco por ser uma superfície lisa não vai ter atrito, já no segundo haveria, assim a aceleração dos dois blocos será diferente (*status 2*).
41. Na superfície lisa o bloco precisará de menos quantidade de energia para realizar seu percurso (sua descida), assim o deslizamento ocorrerá com mais facilidade. Já a superfície áspera, por possuir ranhuras, exigirá maior força para que o deslizamento do bloco seja possível (*status 2*). **(Modelo Mental)**
42. O bloco que está presente na superfície lisa chega mais rápido ao chão, pois as únicas forças atuando sobre ele é o peso, a velocidade e o de impulso, já o bloco que está presente na superfície áspera, tem a força de atrito que impedirá com que o bloco chegue ao chão com facilidade (*status 2*).
43. Na superfície lisa e sem atrito, o bloco desliza mais rápido pela superfície. $F_{at} = \mu.N$ como não tem atrito nem μ a normal é zero então ele desliza rápido pela rampa. Na superfície com atrito, o bloco desliza mais devagar pela rampa, depende da força de atrito e do coeficiente de atrito. $F_{at} = \mu.N$. O bloco não desliza facilmente pela rampa pois tem a força de atrito que o puxa no sentido contrário ao seu movimento (*status 3*).
44. Num primeiro momento, os dois blocos possuem apenas energia potencial. Após serem soltos, eles passam a ter também a energia cinética. Quando

- os blocos chegam no final do plano inclinado, a energia potencial vale zero. O bloco que desce pela superfície com atrito possui uma menor energia cinética, pelo fato de descer com uma menor velocidade (*status 2*).
45. No bloco de superfície lisa, a aderência será maior, e a dificuldade de mobilização será menor, logo, menos energia será necessária. Já no caso de superfície com atrito, mais dificuldade de deslizamento, mais energia necessária (*status 2*).
46. O bloco na superfície lisa vai chegar em menor tempo do que o bloco na superfície áspera, pois como ela proporciona o atrito, há perda de energia durante sua descida, fazendo com que sua velocidade seja menor, do que a da superfície lisa, no qual não tem essa mesma perda (*status 3*).
47. Na superfície áspera terá um resistência muito maior que em relação a superfície lisa, pois na superfície áspera será realizado uma força de atrito que fará papel de uma força resistente na hora em que o bloco começar a descer (*status 2*).
48. Na primeira situação o bloco deslizará com maior facilidade pois sem atrito **ele terá que realizar menor trabalho** do que na segunda situação em que o bloco deslizará com uma maior dificuldade por conter atrito entre ele e a superfície, com isso o bloco na segunda situação precisará de uma maior energia para chegar no final da rampa do que o bloco 1 na primeira situação(*status 2*).
49. Na primeira situação, o corpo chegará ao final da rampa com uma quantidade de energia maior, já que por não ter atrito, a única força presente será o P_x , pois o P_y e a N se cancelam. Já na segunda situação, o corpo chegará ao final da rampa com uma quantidade de energia menor do que a primeira, porque além do P_x atuante, terá uma força de atrito (F_{at}) em sentido oposto, impedindo que desça com a mesma facilidade (*status 3*).
50. O primeiro bloco descerá a rampa mais rapidamente que o segundo bloco, pois, a superfície de contato do primeiro bloco é lisa diminuindo o atrito, já no segundo bloco a superfície de contato é áspera tendo maior atrito e retardando a sua descida e tendo maior produção de energia que o primeiro bloco, pois no segundo caso a superfície de contato é maior (*status 3*).
51. Na primeira situação, como não há atrito, a caixa consegue se deslizar normalmente, com energia, já na segunda situação, já que tem atrito, tem

um F_{at} , em que não quer que o bloco deslize sobre a superfície, mas já que possui movimento, a energia faz com que o bloco se deslize (*status 3*).

52. Na superfície com atrito, uma parte da energia é dissipada, diferente da outra superfície que é lisa, então tem sua energia conservada. Por isso se lançar um objeto numa superfície com atrito sua velocidade zera mais rápido do que se lançar um objeto numa superfície lisa, que sofrerá apenas com a resistência do ar (*status 3*).

53. No bloco com o plano liso (sem atrito) a força resultante (energia) será igual a P_x que é a decomposição da força peso, diferentemente do bloco sobre o plano com atrito onde sua força resultante é a diferença de P_x – a força de atrito. Consequentemente o bloco no 1º caso desce em um tempo menor que no segundo caso (*status 3*).

54. Na situação 1 o bloco conseguirá deslizar e obter o máximo de energia que poderia conseguir já que não há nenhum meio dissipativo. Já na segunda situação a energia total que o corpo poderia obter terá de ser subtraída pela energia dissipativa ocasionada pelo atrito (*status 3*).

Fundamentos da Mecânica (noturno):

1. (*status 0*)
2. Quando não existe atrito não existe a necessidade de uma grande energia para acionar o sistema, portanto não havendo atrito para vencer a inércia é exigida uma energia menor (*status 2*)
3. Onde a superfície é lisa o bloco descenderá mais rápido. No outro caso existe a força atrito que gera energia nesse contato e esse trabalho diminui a velocidade (*status 2*)
4. (*status 0*)
5. O atrito no segundo caso vai fazer com que o bloco pare antes (*status 2*)
6. No esquema sem atrito, o bloco vai deslizar até um determinado ponto. Já no esquema com atrito ele poderá ou não deslizar dependendo do seu coeficiente de atrito (*status 1*)
7. (*status 0*)
8. A energia gasta na interação dois é maior que a da 1ª interação devido ao atrito gerado entre o bloco e a superfície. No 1º caso não terá perda de energia (*status 3*)
9. O primeiro bloco chegará primeiro ao final da rampa, haja visto que não há nenhuma força contrária ao seu deslocamento como no caso do atrito com o atrito, o segundo bloco gasta desprender (illegível) uma a mais energia até chegar ao final da rampa (*status 2*)
10. (*status 0*)
11. O bloco que possui atrito irá tombar, pois devido ao atrito a energia sofrerá uma alteração já o bloco sem atrito irá deslizar e sua energia será constante (*status 2*)
12. A força de atrito é uma força dissipadora de energia (movimento), como no primeiro plano não há atrito sem impedimento e com velocidade crescente. O segundo bloco descenderá com velocidade menor reduzida em relação ao 1 (*status 2*)
13. No bloco I não há transferência de energia, sem perdas, ao passo que no segundo poderá haver perdas e se estas forem grandes o corpo poderá ser freado até parar (*status 2*)
14. (*status 0*)

15. Na superfície lisa não terá perda de energia mecânica e ela é conservada. Na áspera terá perda de energia mecânica logo não é um campo conservativo (*status 3*)
16. No primeiro caso toda a energia potencial será “transformada” em energia cinética, ou seja, como a energia em um sistema fechado se conserva e não havendo dissipação de energia, um decréscimo na energia potencial acarreta em um acréscimo na energia cinética. No segundo caso o atrito com a superfície faz com que parte da energia potencial do corpo se dissipe (em calor, som), enquanto a outra parte corresponde à energia cinética (*status 4*).

Corpos Rígidos e Flúidos (diurno):

1. Na superfície áspera, a força de atrito realiza trabalho e o bloco chegará na base do plano inclinado depois do bloco que percorre a superfície lisa, que não há forças externas, como o F_{at} (*status 2*)
2. Ao final do plano inclinado 1 o bloco chegará sem perda de energia. Ao final do plano inclinado 2 o bloco chegará com perda de energia (*status 2*)
3. Na superfície lisa, foi gasto menos energia para chegar ao pé do plano inclinado. Já quando se tem atrito, usa-se mais energia para chegar ao mesmo ponto (*status 3*)
4. O atrito do corpo com o plano gera perda de energia. Assim, a velocidade do corpo diminuir em relação à situação sem atrito (*status 2*)
5. O bloco que está sobre uma superfície áspera tem uma força de atrito aplicada. Essa força de atrito faz o bloco perder velocidade e dissipa a energia sob a forma de calor ou som (*status 4*)
6. Na superfície lisa o bloco somente está deformando o meio ar. Na superfície áspera o bloco deforma o espaço ar e a superfície portanto mais energia é usada pelo sistema (*status 1*)
7. I Desliza sem perda de energia por atrito, chegando à base da rampa com velocidade maior do que na situação II. II Desliza com perda de energia por atrito, chegando à base da rampa com velocidade menor do que na situação I (*status 2*)
8. Na superfície áspera o atrito agirá como uma força externa, dificultando o movimento. Logo, parte da energia se perderá para vencer o atrito, e assim sua velocidade será menor (*status 2*)
9. No plano sem atrito toda a energia potencial é transformada em E_c , no plano com atrito existe perda de energia por causa da F_{at} então não vai ocorrer a igualdade $E_p = E_c$ (*status 3*)
10. Na superfície lisa não haverá perda de energia mecânica e na segunda a energia mecânica será perdida pelo atrito que causará aumento de temperatura e causará ondas mecânicas (*status 3*)
11. Na superfície áspera a energia dissipada pelo atrito se opõe à energia cinética. Já na superfície lisa isso não ocorre. Microscopicamente na

superfície áspera tem-se irregularidades que provocam atrito visto microscopicamente (*status 2*)

12. No primeiro caso como não há atrito o sistema bloco e raspa (ilegível) se conserva assim não há perda de energia. No segundo caso como há atrito sua energia não se conserva devido a perda de energia térmica, sonora entre outras. Com isto concluímos que a energia final no primeiro caso é maior que no segundo caso (*status 4*)
13. Na superfície lisa, a energia cinética obtida quando o bloco chega no fim da rampa é igual à energia potencial quando o bloco está no ponto mais alto, pois não há dissipação de energia pelo fato de a superfície da rampa ser lisa. O que já não acontece no segundo caso, pois com a presença de atrito há dissipação de energia (*status 3*)
14. Considerando-se que os dois blocos possuem a mesma massa, a mesma distribuição da massa ao longo do corpo e o mesmo formato, sabemos que a energia potencial nos dois sistemas é igual, no entanto a energia no final da rampa será diferente, a energia do bloco que desliza na rampa sem atrito a energia cinética será igual a energia potencial inicial, no entanto, a energia cinética do bloco que desce no plano com atrito é menor do que a potencial inicial porque se dá perdas devido ao trabalho da força de atrito (*status 4*)
15. (*status 0*)
16. (*status 0*)
17. No caso que tem atrito tem uma força contrária ao movimento. No caso que não tem atrito não tem uma força contrária ao movimento. Portanto nesse último caso o bloco chegará primeiro (*status 2*)

Corpos Rígidos e Flúidos (noturno):

1. O bloco (1) vai descer mais acelerado do que o corpo (2), o que faz com que a E_c seja maior em (1) do que em (2) (*status 2*).
2. Há perda de energia no 2º caso devido a existência da força de atrito (*status 2*).
3. Em ambos os casos a energia mecânica se conserva. No entanto na superfície áspera há força de atrito agindo que diminui a velocidade do bloco (*status 2*).
4. No primeiro bloco a energia se conservará. No segundo, parte da energia será dissipada em forma de calor devido ao atrito (*status 4*).
5. Na situação 1: superfície lisa por não haver atrito o bloco escorregará mais facilmente no ponto mais alto e com o objeto parado temos a energia potencial máximo que no decorrer da queda virá energia cinética. Na situação 2: superfície áspera o bloco tem demorará mais para descer pois há imperfeições na rampa o mesmo ocorre com a energia neste caso (*status 2*).
6. No plano em que há atrito a perda de energia em forma de calor, som... e por isso leva mais tempo para chegar ao ponto mais baixo da rampa. No plano em que não há atrito e por isso não há perda de energia (*status 4*).
7. –Na superfície lisa há conversão da energia potencial em cinética. – Na superfície com atrito também temos em que parte da energia se dissipa (*status 3*).
8. A força de atrito será maior na rampa áspera dependendo do ângulo de inclinação o bloco pode até chegar a rolar, o bloco da rampa lisa chega primeiro ao solo (*status 2*).
9. No primeiro caso o bloco deslizará livremente só haverá variação de $E_{\text{potencial gravitacional}}$ e $E_{\text{cinética}}$. No segundo, além das duas acima, tem uma força de atrito, que causará uma mudança de velocidades e disse sairá energia térmica que dissipará, além disso pode ser que ocorra uma energia sonora (*status 3*).
10. No primeiro caso não há dissipação de energia. No segundo caso a força de atrito dissipa energia (*status 3*).

11. Superfície lisa: Quando não tem atrito, só existe peso que faz san... (ilegível), a energia mecânica e a potencial cinética. Quando há atrito, a energia mecânica tem a da resistência fazendo com que o bloco deslize com dificuldade ou seja a energia potencial é só gravitacional (*status 2*).
12. No caso sem atrito a energia potencial se converte em cinética. Na segunda parte é dissipada em forma de calor e som (*status 4*).
13. Na superfície lisa a energia total é gasta pela queda. Já na superfície 2 com atrito parte da energia é perdida com o atrito, claro desconsiderando a resistência do ar (*status 3*).
14. A energia no caso 2 é dissipada pela força de atrito (situação corresponde a realidade) e a situação é idealizada e existe conservação de energia (*status 3*).
15. No bloco sem atrito vai descer direto, com velocidade constante. No bloco com atrito, o atrito vai ser contrário o movimento, desacelerado o bloco fazendo com que ele demore mais a descer (*status 2*).
16. Na superfície lisa, o bloco desce com velocidade que a superfície áspera. Na superfície áspera há perda de energia devido o trabalho da força de atrito (*status 3*).
17. O bloco sobre a superfície lisa não sofre ação do atrito, portanto chega primeiro que o da superfície áspera (*status 2*).
18. O bloco na superfície lisa dissipará toda sua energia potencial gravitacional na forma de movimento energia cinética. Já o bloco na superfície áspera além de movimento perderá energia na forma de calor devido ao atrito (*status 4*).
19. No plano sem atrito o bloco vai deslizar mais rapidamente em relação ao outro (*status 1*).
20. Na 1ª situação o bloco desliza, a energia necessária é menor em relação a 2ª situação onde é necessário aplicar uma força para que realizemos o mesmo movimento (*status 2*).
21. No primeiro caso, temos o ideal, a energia inicial é igual a final, sendo transformada durante a queda de potencial em cinética no segundo caso, a energia é dissipada pelo atrito, e $E_i \neq E_f$, sendo que esta energia potencial foi transformada em cinética e em calor e som (*status 4*).

22. Na superfície lisa o bloco escorregará e chegará mais rápido, o contrário ocorrerá com a superfície áspera (*status* 1).

Termo-Estatística (diurno):

1. Quanto mais áspero, mais transformação de energia terá, então diminuirá a parcela de energia cinética (*status 1*)
2. Quando a mesma altura ambos tem a mesma energia acumulada, porém ao começar a escorregar o bloco que sofre o atrito, começa a perder tal energia em forma de calor e começa a perder velocidade, enquanto que o bloco que não sofre o atrito continua a descer sob a força da gravidade (*status 4*)
3. O segundo bloco leva mais tempo para chegar pois ele precisa vencer a força de atrito. Pode se dizer que ele perde mais energia para o sistema (*status 2*)
4. No primeiro há apenas força gravitacional agindo sobre o bloco, sendo assim, a energia será conservada (energia potencial gravitacional irá diminuir, enquanto a cinética irá aumentar). Já no segundo, quando há atrito, teremos uma perda de energia ao deslizar pela rampa (*status 3*)
5. O atrito dissipa energia, portanto o segundo bloco mover-se-á mais lentamente (*status 2*)
6. No primeiro caso, sua energia potencial será toda transformada em cinética, descendo de maneira acelerada. No segundo caso, parte da energia inicial será gasta aquecendo o sistema devido ao atrito. A descida será acelerada também só que com uma aceleração inferior à do primeiro caso (*status 4*)
7. No plano sem atrito não haverá perda de energia potencial. No segundo, com o atrito terá mais dificuldade para descer e sua energia potencial será parcialmente (ou totalmente, dependendo do coeficiente de atrito, da massa do bloquinho, inclinação do plano) dissipada em forma de calor (*status 3*)
8. No caso da superfície lisa haverá conservação da energia mecânica e assim o bloco chegará com maior velocidade ao fim do plano inclinado, em relação ao bloco da superfície áspera, em que há perda de energia mecânica (*status 3*)
9. Para o plano da superfície lisa, o bloco, a medida que desce o plano ganhará velocidade, pois no início, pela diferença de altura, havia uma diferença de potencial, essa energia potencial, a medida que o bloco desce se transforma em energia cinética, que ao final da rampa, em número, a

energia cinética será igual à energia potencial no início. Para o plano de superfície áspera, parte dessa energia potencial se transformará em energia cinética e outra parte em energia térmica, sonora,... (*status 4*)

10. Na situação 1 como não há atrito o bloco terá mais velocidade no final do plano inclinado, pois a grande parte da energia potencial se transformará em energia cinética. Na situação 2 o atrito entre o plano e o bloco vai gerar calor (energia térmica dissipada neste caso) então uma parte da energia potencial não se transformará em cinética (*status 3*)
11. Na primeira situação o bloco descera a rampa com um movimento uniformemente variado em duas componentes (x e y) sem que haja perda de energia para o meio. Já na segunda situação temos as mesmas componentes (x e y) só que agora teremos uma perda de energia em forma de calor para o meio devido à força de atrito que ocorre entre o bloco e a superfície do plano inclinado (*status 3*)
12. No primeiro desenho o bloco vai descer rapidamente o plano já que este é liso; portanto vai perder mais energia. Já no segundo desenho, o bloco vai descer lentamente devido a existência do atrito portanto vai perder menos energia. Uma coisa que esqueceu de mencionar é que na segunda situação vai haver muita dissipação de energia devido ao atrito (*status 2 – confuso*)
13. Os blocos tendem a deslizar. O 1º deslizará pois não há atrito. O 2º poderá ou não deslizar a depender do coeficiente de atrito. 1º) $E_{\text{potencial}}$ diminuirá; $E_{\text{cinética}}$ aumentará; 2º) Se deslizar o mesmo que o 1º (com velocidade diferente), se não deslizar: $E_{\text{cinética}} = 0$; $E_{\text{pot}} = mgh = \text{cte}$ não se altera (*status 3*)

Termodinâmica (diurno):

1. O bloco que está na superfície lisa irá chegar mais rápido ao chão porque toda sua energia potencial será transformada em cinética, já o bloco na superfície de atrito terá conversão de energia potencial em energia dissipada pelo atrito e cinética (*status 4*)
2. 1º A energia potencial armazenada será transformada em energia cinética;
2º A energia potencial será transformada parte em energia cinética e parte dissipa pelo atrito (*status 3*)
3. No primeiro caso não haverá dissipação de energia, enquanto no segundo, tomando a força de atrito como uma força não conservativa haverá a dissipação (*status 4*)
4. Na situação 1 o bloco descera mais rápido pois a força de atrito é considerada desprezível e no 2 por haver atrito considerável haverá mais forças de resistência a reconsiderar e o bloco gastará mais energia para descer (*status 3*)
5. Na superfície lisa: A energia potencial gravitacional se transforma no ponto mais baixo em energia cinética apenas ($E_{\text{inicial}} = E_{\text{final}}$). Na superfície com atrito: O atrito dissipará energia, de modo que a $E_{\text{final}} < E_{\text{inicial}}$ (*status 3*)
6. Na superfície lisa, toda energia potencial do bloco irá se converter em energia cinética fazendo com que o bloco chegue ao fim da rampa. Já na superfície áspera, parte da energia potencial será perdida pelo atrito, podendo fazer com que o bloco pare no meio do trajeto ou que chegue ao fim da rampa com uma velocidade menor do que a da superfície lisa (*status 3*)
7. Na superfície lisa o corpo desliza no plano, transformando energia potencial em cinética. Na superfície com atrito, a energia inicialmente potencial é transformada em energia cinética e térmica, por conta do atrito, além de rotacional devido ao torque da de atrito sobre o bloco (*status 4*)
8. O bloco na superfície lisa escorregará mais rápido, pois não há atrito dissipando energia em forma de calor e som, diferentemente do segundo (*status 3*)
9. Na superfície lisa, o bloco desliza ganhando velocidade transformando a energia potencial em cinética. Na superfície áspera, o bloco também ganha

velocidade, mas parte da energia é transformada em calor devido ao atrito (*status 4*)

10. Na superfície lisa, não há força de atrito, o bloco chega ao chão com energia cinética equivalente a sua energia potencial inicial. Na superfície áspera, o segundo bloco pode ou não chegar ao chão dependendo de sua energia potencial ser maior que a energia dissipada devido ao atrito (*status 4*)
11. Na situação (1), haverá transformação de energia potencial gravitacional inteiramente em energia cinética e o bloco descera a rampa aumentando sua velocidade. Na situação (2) ocorrerá processo semelhante, no entanto parte da energia será dissipada devido ao atrito retardando a descida do bloco em relação à situação 1 (*status 3*)
12. Supondo que o bloco vá deslizar com o atrito, pela conservação de energia a velocidade terminal da primeira situação será maior do que na segundo, pois: $E = mgh + \frac{1}{2}mv_{1f}^2 = mgh + mv_{2f}^2 + F_{at}.d$ ($v_{1f} > v_{2f}$) ($F_{at} > 0$) (*status 3*)

Termodinâmica (noturno):

1. (*status 0*).
2. Na superfície lisa o bloco desliza sem atrito e toda a energia potencial é convertida em energia cinética durante a descida. Na rampa áspera a força de atrito dissipa parte da energia, que se transforma em calor, por exemplo, fazendo com que parte da energia mecânica se “perca” (*status 4*).
3. (1) $E_{\text{potencial}} \rightarrow E_{\text{cinética}}$. (2) $E_{\text{potencial}} \rightarrow E_{\text{cinética}} + E_{\text{térmica (atrito)}}$ (*status 3*).
4. No caso da superfície lisa a única força envolvida é a gravitacional, que é conservada, logo o bloco irá ganhar cada vez mais velocidade até chegar no fim da rampa. No caso do bloco na superfície áspera a força de atrito, que não é conservativa. Assim, uma parte da energia irá se “perder”, ou seja, transformada em calor, som e/ou deformação. Assim, nesta situação o bloco acelera até uma velocidade limite e depois continua em um movimento não acelerado (*status 4*).
5. No primeiro caso o bloco irá adquirir uma velocidade maior do que no segundo, pois não haverá dissipação de energia (*status 2*).
6. No deslizamento sem atrito toda a energia potencial gravitacional no ponto mais alto seria transformada em energia cinética, conservando a energia mecânica. No deslizamento com atrito a energia potencial seria transformada em energia cinética e térmica enquanto o corpo desce. Assim a energia cinética não é conservada (*status 4*).
7. Para o caso (a – superfície lisa): o bloco descera o plano inclinado. Para o caso (b – superfície áspera): se o coeficiente de atrito estático for alto o suficiente, o bloco continuará em repouso. $F_{\text{atrito}} \geq P \sin \theta$: Caso $P \sin \theta \geq F_{\text{atrito}}$ o bloco descera o plano inclinado com velocidade menor do que no caso (a), sem atrito (*status 2*).
8. Na superfície lisa, ocorre conservação da energia mecânica, de modo que toda a energia potencial se transforma em cinética no final. Na superfície áspera, há perda de energia, de modo que parte da energia potencial é consumida para vencer o atrito (*status 3*).
9. No plano liso, a energia mecânica se conserva, e toda energia potencial se transformará em energia cinética. No plano áspero, a energia mecânica se

conserva, porém parte é dissipada na forma de calor, devido ao atrito.

Portanto, nesse caso, a velocidade final do bloco será menor (*status 3*).

10. Superfície lisa: o bloco terá mais velocidade e chegará mais rápido ao fim da rampa. Superfície áspera: o atrito tirará energia do bloco, diminuindo a velocidade final (*status 2*).

11. $U = K + T$. A energia é a soma da energia cinética com energia potencial (*status 2*).

12. (*status 0*).

Mecânica 2 (diurno):

1. No 1º caso o bloco desce a rampa com movimento acelerado e continua assim até que a rampa acaba. No 2º caso, como há presença de força de atrito, o bloco é desacelerado por essa força até que ele para por não conseguir “vencer” a força de atrito (*status 2*).
2. Superfície lisa: A energia mecânica se conserva $E_p \rightarrow E_c$. Superfície áspera: Há dissipação de energia, a energia mecânica não se conserva (*status 3*).
3. A energia é inicialmente potencial no caso sem atrito o bloco ganha energia cinética de forma ordenada e todas as partículas que o constituem se movem em média em uma mesma direção, no caso com atrito parte da energia se transforma em energia cinética desordenada nas partículas do bloco dando origem a um aumento de temperatura (***status 5***).
4. No segundo caso há uma dissipação de energia e a velocidade no final do plano será maior no primeiro caso (*status 2*).
5. A superfície influi no sist.. um trabalho não conservativo (*status 1*).
6. (1) Como não há atrito a energia mecânica é conservada. (2) não é conservada pois parte se dissipa pelo atrito (*status 3*).
7. A energia mecânica inicial é a mesma mas na segundo caso parte dela será dissipada na forma de calor devido ao atrito e portanto a velocidade no final do rampa será menor no caso que há atrito (*status 4*).
8. Na superfície lisa o bloco cai sem atrito, logo ao final da rampa toda energia potencial gravitacional do bloco se transforma em energia cinética, isto é, a energia é conservada. Na superfície áspera o que acontece é que não há conservação de energia, pois existe uma força de arrasto (atrito) e parte da energia potencial é perdida sendo convertida em outras forma (térmica, por exemplo) e o restante se transforma em energia cinética (*status 4*).
9. (*status 0*).
10. O primeiro deve deslizar, acelerando conforme anda mais (e acelerando mais se for mais íngreme a descida), e deve chegar ao final. A energia potencial inicial converte-se toda em cinética. O segundo, dependendo dos coeficientes de atrito, pode nem sair do lugar (não perde energia), pode descer tudo, com aceleração reduzida (e dissipação de energia) ou pode

parar no meio do caminho (ficando só com um tanto de energia potencial, não dissipada) (*status* 3).

11. No caso sem atrito, a energia cinética e potencial do bloco, somadas, são conservadas, no segundo caso há dissipação dessa energia pela interação de rugosidades dos materiais, o que gera energia térmica e/ou sonora diminuindo a velocidade do bloco (sob ação de um campo gravitacional) (*status* 4).
12. Temos que no caso sem atrito o bloco desliza, e transforma sua energia potencial em cinética, e no caso das superfícies com atrito temos que há transferência de energia potencial, caso haja movimento em energia cinética e há transformação em energia térmica também (*status* 4).

Disciplina/Curso	Turno	N (%)	0	1	2	3	4	5
Ensino Médio	M	54 (100,0)	1(1,8)		25(46,4)	27(50)	1(1,8)	
Fundamentos de Mecânica	N	16 (100,0)	5(31,3)	1(6,2)	7(43,8)	2(12,5)	1(6,2)	
Corpos Rígidos e Fluídos	M	17 (100,0)	2(11,8)	1(5,9)	7(41,2)	4(23,5)	3(17,6)	
Corpos Rígidos e Fluídos	N	22 (100,0)		2(9,1)	9(40,9)	6(27,3)	5(22,7)	
Termo-Estatística	M	13 (100,0)		1(7,7)	3(23,1)	6(46,1)	3(23,1)	
Mecânica 2	M	12 (100,0)	1(8,3)	1(8,3)	2(16,7)	3(25)	4(33,4)	1(8,3)
Termodinâmica	M	12 (100,0)				8(66,7)	4(33,3)	
Termodinâmica	N	12 (100,0)	2(16,7)		4(33,3)	3(25)	3(25)	

Questão 5:

Ensino Médio (Colégio Parthenon):

1. Esse fenômeno ocorre pois há uma dissipação da energia primeiramente utilizada. Além disso existe a resistência do ar, que impossibilita que o alcance seja o mesmo (*status 2*).
2. (*status 0*).
3. Resistência do ar e imperfeições do fio dissipam a energia da esfera, fazendo com que ela chegue numa altura menor (*status 2*).
4. Depois, a altura máxima que a massa “m” consegue atingir é menor que a altura da qual foi, originalmente, solta é por causa da dissipação de energia e da resistência do ar (*status 2*).
5. A energia vai sendo dissipada conforme o tempo passa, dessa maneira o trabalho realizado pelo pêndulo será cada vez menor até que ele pare (*status 3*).
6. (*status 0*).
7. A energia potencial depende da gravidade, portanto, a força gravitacional “puxa” a esfera para baixo e a energia cinética depende da velocidade; como há energia potencial e cinética no pêndulo, o corpo fica em movimento, e durante os instantes t_0 e t_1 , a força que a esfera tem para subir é menor que a força da gravidade, que então, traz ela para baixo (*status 2*).
8. O pêndulo perde energia e a gravidade começa a ter uma força maior sobre ele impedindo-o de subir até o ponto anterior (*status 2*).
9. Esse fenômeno pode ser explicado pelos conhecimentos sobre energia, pois esse movimento irá diminuir a cada vez que o pêndulo realizar o movimento, pois irá agir sobre ele a pressão e o peso que passa a oscilar. Então a energia aumenta com o tempo (*status 1*).
10. A energia potencial presente na esfera se perde durante o processo, transforma-se em outros tipos de energia (*status 2*).

11. Conforme a esfera oscila, ela dissipa a energia inicial devido à resistência do ar, tanto que, se esse mesmo pêndulo estivesse no vácuo, ele iria continuar a descrever exatamente o mesmo movimento (*status 3*).
12. A energia potencial faz com que o corpo atinja uma maior altura. A ação da gravidade também (*status 1*).
13. Isso acontece principalmente por dois fatores, durante esse movimento há uma dissipação de energia do corpo com o meio e a resistência do ar age como F_{at} (*status 3*).
14. A perda de energia no pêndulo verifica-se por conta da diferença no alcance (altura) que não se repete devido a perda da velocidade no movimento (*status 1*).
15. A esfera não atinge a mesma altura, pois sempre há perda de energia. Teoricamente, a energia inicial, energia potencial (presente no instante t_0) deveria ser igual a energia final, a cinética mais potencial, no entanto há a dissipação de energia (*status 3*).
16. No ponto mais alto, a energia potencial é maior que a energia cinética. A soma da energia potencial e cinética resultará em energia mecânica ($E_m = E_c + E_p$). À medida que a bolinha perde a sua velocidade, a altura vai diminuindo (*status 2*).
17. Conforme o pêndulo se movimenta, este vai perdendo energia com o movimento, diminuindo sua massa (*status 1*).
18. Assim que a massa diminui, há menos força conseqüentemente energia menor para atingir uma altura maior (*status 1*).
19. Ocorreu uma perda de energia pelo corpo, pois no instante “t” esse atinge uma altura menor – em relação à “ t_0 ” -, possuindo, portanto, menor energia potencial: $E_p = mgH$, em que E_p é a energia potencial, m é a massa do corpo, g é a aceleração da gravidade e H é a altura do corpo em relação a um referencial (*status 2*).
20. Esse “fenômeno” com o pêndulo acontece pois, o impulso cedido ao pêndulo vai perdendo a “energia”, o seu movimento (*status 1*).
21. A energia se dissipa durante o fenômeno portanto a altura atingida é menor (*status 2*).
22. Durante o movimento, as energia se conservam, potencial (gerada pela altura (gravidade) e a cinética (gerada pela velocidade ganha durante a

- queda), isso se não considerarmos a resistência do ar, que desacelera o objeto impedindo, a cada oscilação, que a energia cinética se conserve (*status 3*).
23. (*status 0*).
24. (*status 0*).
25. Isso se dá pois o corpo energia (*status 1*).
26. A energia vai se perdendo, ao passo em que se torna outro tipo de energia (ela vai se dissipando) (*status 3*).
27. A energia não foi conservada no movimento da bolinha, ela se perdeu no ambiente. Como a energia foi perdida, a velocidade é menor fazendo com que ela não consiga alcançar a altura de antes (*status 2*).
28. Pelo fato do corpo ter sido solto, a energia mecânica acumulada nesse corpo, através da trajetória, irá ser dissipada devido à resistência do ar e também, porque, depois de solto, não é aplicado nenhuma força a mais para fazê-lo se movimentar, só as que o fazer “parar” o movimento feito (*status 3*).
29. Esse fenômeno ocorre, pois como houve uma variação na massa e logo sua altura atingida foi menor do que a original, pressupõem-se que a massa aumentou e a energia se perdeu, por isso o ritmo foi alterado (*status 2*).
30. A energia potencial inicial ao longo do trajeto em que era mecânica, vai sendo diminuída em função de haver dissipação de energia mecânica o que faz com que ela volte e tenha energia potencial menor (*status 3*).
31. Devido o aumento da corda precisa-se de maior energia para se atinja a altura que foi lançada, devido ao aumento de tensão na corda (*status 1*).
32. A altura atingida no instante t ($t > t_0$) será menor que a inicial porque existe perda da energia no sistema o que fará com que o pêndulo simples pare porque não haverá mais energia para ele realizar o trabalho de movimentar-se em função da corda (*status 2*).
33. Quanto o pêndulo é solto ele sofre a ação da energia cinética (tem velocidade) e da energia potencial (tem altura), ele faz com o ponto de onde saiu um ângulo, fazendo um trajeto de meio círculo com o ponto de onde saiu até o ponto onde chegou o que faz com que a altura de onde saiu ser menor que a altura que chegou no instante $t > t_0$. (*status 2*)
34. (*status 0*).

35. Há uma perda de energia conforme o corpo é solto, pois há gasto dessa energia com o ar, para conseguir atravessar, chegando em t com uma altura menor, o que continuará acontecendo, pois se mostrasse o movimento do pêndulo voltando ele não alcançaria t_0 ou t , alcançaria uma altura menor (*status 3*).
36. (*status 0*).
37. Percebe-se no instante $t > t_0$ que a altura máxima que a massa m consegue atingir é menor que a altura que foi, originalmente, solta porque durante o movimento do pêndulo simples a energia cinética que havia sido transferida foi sendo perdida (*status 3*).
38. O pêndulo não chega a mesma altura por conta da dissipação de energia que os fatores do ambiente alteram, que pode ser um deles a resistência do ar, gravidade, ou até mesmo o fio do pêndulo (*status 2*).
39. No instante em que solta o pêndulo a altura no instante t_0 irá refletir do outro lado portanto depois de um tempo a energia contida no início se perde fazendo com que diminua a altura do sistema (*status 2*).
40. A velocidade dos dois instantes são diferentes, a troca de energia que ocorre vai diminuindo ao decorrer do tempo, assim a altura máxima vai ser menor, pois ela não tem mais a energia suficiente para alcançar uma altura maior (*status 2*).
41. Na primeira vez que foi solto, o corpo dispunha de maior quantidade de energia do que no t ($t > t_0$). Assim, ao voltar, a bola volta com menor energia e alcança uma altura menor, e isso vai acontecendo até a total parada do pêndulo (se não houver outra força externa sobre ele) (*status 2*).
42. Porque quando o pêndulo é solto ele “perde movimento” até chegar ao grau 90° , o que mostra que tem trajetória do movimento completo (*status 1*).
43. (*status 0*).
44. (*status 0*).
45. (*status 0*).
46. Enquanto o pêndulo passa pelo ar, sua energia vai sendo gradativamente perdida, já que a resistência desse gera um atrito sobre a bolinha, portanto quando ela voltar para sua posição inicial, atingirá uma altura menor e isso vai acontecer até o momento em que o pêndulo parar a balança (*status 2*).

47. Em um pêndulo simples se há a ação das forças, o da gravidade que fará com que esse pêndulo ao ser solto “caia”, porém não se poderá retornar à altura de origem porque a força do P(peso) é maior do que o de antes (*status 2*).
48. A medida que o tempo passa o pêndulo vai perdendo energia e atingindo alturas cada vez menores. Isso acontece porque a energia se dissipa e se transforma adquirindo outra forma e então o pêndulo vai “perdendo” energia diminuindo assim seu potencial para atingir a altura máxima (*status 3*).
49. Esse fenômeno acontece porque ao ser solto, o corpo ganha uma energia que não é suficiente para atingir a altura da qual ele foi solto (*status 2*).
50. (*status 0*).
51. (*status 0*).
52. Há uma diminuição da altura atingida, porque parte da energia é dissipada, diminuindo a velocidade e portanto a altura atingida no instante t (*status 2*).
53. O pêndulo não retoma sua energia inicial pois sua força inicial é menor do que a força no segundo estado (*status 2*).
54. (*status 0*).

Fundamentos da Física (noturno):

1. (*Status*: 0)
2. Com o atrito do ar e a energia gravitacional intervem na oscilação do pêndulo, potencializando sua parada (*Status* 1)
3. O atrito que o ar gera na bola gera uma energia que no final diminui a bola (*Status* 1)
4. A energia potencial a cada oscilação diminui com o atrito com o ar que absorve essa energia e o efeito da aceleração da gravidade também contribui para diminuir a altura de oscilação (*Status* 3)
5. A energia presente no t_0 ira se dissipar até t (*Status* 2)
6. (*Status* 0)
7. (*Status* 0)
8. A perda de energia devido ao atrito com o ar (*Status* 2)
9. (*Status* 0)
10. (*Status* 0)
11. A energia de quem soltou o pêndulo é menor que a energia necessária para o pêndulo atingir a altura máxima (*Status* 1)
12. Considerando que não estamos em condições ideais, a corda atritada com o ponto de contato, e a massa m , embora esférica atrita com o ar, dissipando energia, portanto diminuindo o movimento (*Status* 2)
13. Houve atrito com o ar o que explica as alturas menores, infere-se que após certo tempo ficará estático no plano vertical (*Status* 1)
14. (*Status* 0)
15. O pêndulo simples ele oscila, pois ele troca constantemente energia cinética por energia potencial logo se essa energia fosse eternamente conservada ele oscilaria para sempre (*Status* 3)
16. Se houvesse a conservação de energia o corpo atingiria sempre a mesma altura. Entretanto como a altura atingida após um certo período é menor que a altura referência então, por hipótese, houve a dissipação de energia (*status* 3).

Corpos Rígidos e Flúidos (diurno):

1. No instante de lançamento o corpo possui apenas energia gravitacional. Assim ele desce e a energia gravitacional diminui e aumenta-se a energia cinética do sistema (*status 3*)
2. A altura atingida é menor pois com perda de energia para o ambiente (*status 2*)
3. Quando na oscilação da esfera de massa m há um ganho de energia, por isso no 2º instante de tempo, ela atinge uma altura maior (*status 1*)
4. Como o sistema não é isolado, o atrito com o ar gera dissipação da energia inicial, que gera a variação da altura máxima observada (*status 3*)
5. Isso ocorre devido a forças de atrito entre a bola e o ar, dissipando essa energia do sistema (*status 3*)
6. (*Status 0*)
7. A energia potencial gravitacional inicial do pêndulo é dissipada por atrito, com o ar, com o ponto de amarração da corda, etc. Por este motivo a altura final do pêndulo é menor do que a altura inicial (*status 3*)
8. Num sistema ideal, a altura deveria se manter constante eternamente, mas sabemos que a energia é dissipada devido ao atrito com o ar, logo a altura diminui (*status 3*)
9. O atrito do pêndulo com o ar retira energia do pêndulo (*status 2*)
10. (*status 0*)
11. A energia inicialmente potencial é conservada; com a energia cinética agindo (quando há movimento) a energia potencial vai diminuindo até o ponto h_1 , no instante t_0 no qual a bola tem altura menor que a inicial (*status 2*)
12. No momento em que suspendemos a bolinha a uma altura h ela adquire uma certa energia potencial, ao soltarmos a bolinha ela irá perder energia potencial e adquirir energia cinética. Porém ela não irá chegar a mesma altura devido o sistema de energia mecânica não se conservar devido a perda de energia, que a bolinha perde devido o atrito do ar para bolinha, causando perda de energia com térmica por exemplo (*status 4*)
13. Isso acontece pois como o sistema pode não estar isolado, então poderá haver perda energia (*status 1*)

14. (*status* 0)

15. Isso acontece porque parte da energia é dissipada no atrito com o ar. Se não houvesse ar o movimento seria o mesmo sempre (*status* 3)

16. (*status* 0)

17. Provavelmente a resistência com o ar e o atrito com a corda em cima faz com que a altura diminua (*status* 1)

Corpos Rígidos e Fluídos (noturno):

1. Há dissipação da E_c através do atrito com o ar (*status 2*).
2. (*status 0*).
3. A energia se conserva. No entanto a resistência do ar que age sobre a partícula faz com que a velocidade do mesmo diminua (*status 2*).
4. (*status 0*).
5. A altura que a massa m consegue atingir é menor que a altura do qual foi solta, pois apesar da energia se conservar devido a resistência do ar que faz com que a massa m não atinja a altura igual ou maior que t_0 (*status 2*).
6. Pode ter atrito entre o barbante e o ponto onde ele foi fixado, ou seja houve perda de energia potencial (*status 2*).
7. O pêndulo atinge alturas cada vez menor, porque durante sua oscilação a energia cinética vai sendo dissipada pelo atrito com o ar. Logo a quantidade de energia cinética disponível para converter em potencial vai diminuindo, o que explica a diminuição da altura (*status 3*).
8. (*status 0*).
9. (*status 0*).
10. Parte da energia foi dissipada no movimento. A energia cinética no ponto mais baixo não foi conservada (*status 2*).
11. Peso do sistema, mas a tração, num sistema conservativo de energia (*status 1*).
12. A energia foi dissipada pelo atrito com o ar (*status 2*).
13. Dissipação de energia em forma de calor, da resistência do ar, perda de energia em forma de som... (*status 3*).
14. Houve dissipação de energia pelo atrito do ar o que explica as alterações de altura (*status 2*).
15. O pêndulo perde energia ao fazer a oscilação, pois a cada ida ao ponto 'inicia', ele gasta energia de ida e volta. A perda de energia é dada pelo atrito do ar e pelo peso do atrito (*status 2*).
16. conservação do momento, e perda de energia (*status 2*).
17. Se a resistência do ar for considerado, o nosso sofre ação das forças de viscosidade do ar, dissipando energia, então a energia mecânica não se conserva (*status 3*).

18. Nessa situação temos que o pêndulo torna sua energia gravitacional em cinética. Porém pode haver perdas de energia na forma de calor devido ao atrito com o ar e pela tensão causada no fio a bola pode distender o fio (*status 4*).
19. Existe perda por causa do atrito com o ar, o fio também pode influenciar (*status 3*).
20. A energia potencial será transformada em energia cinética, porém com o passar do tempo esta energia é perdida devido as forças externas agindo no sistema se não houvesse estas forças o pêndulo oscilaria para sempre (*status 3*).
21. O atrito com o ar faz com que a altura ao longo do tempo diminua, pois a energia a energia não se conserva (*status 2*).
22. O pêndulo oscila devido a energia cinética e potencial adquirida no seu lançamento (*status 2*).

Termo-Estatística (diurno):

1. Teoricamente isto não ocorreria, não houve dissipação de energia, ou seja, a energia cinética se transformou em calor por atrito com o ar (*status 3*)
2. Quando o pêndulo é solto a energia mecânica do sistema começa a ser dissipada devido ao atrito que a bolinha tem com o ar (*status 3*)
3. Devida a resistência do ar. O sistema perde energia para o meio (*status 2*)
4. Há uma perda de energia, pois existe o ar atritando com a massa, por isso que a altura máxima em t é menor (*status 2*)
5. O atrito da massa pendular (ilegível), sua corda e seu ponto de fixação 'escoam' a energia de movimento do pêndulo à sua vizinhança material, desacelerando-a (*status 2*)
6. Devido ao atrito com o ar, parte da energia inicial da bola foi dissipada por este atrito. Logo, as moléculas de ar, próximas de onde a bola passou começaram a se movimentar com maior velocidade (*status 3*)
7. Se o pêndulo estivesse no vácuo ele não pararia de oscilar e não perderia altura. Entretanto, no caso descrito acima a resistência do ar atrapalha o movimento do corpo, fazendo com que sua energia se dissipe ao longo do tempo (*status 3*)
8. Devido a resistência do ar e a eventuais atritos na junção do fio com o teto, ocorre perda de energia mecânica e assim a altura atingida é menor (*status 3*)
9. Como no caso do bloco com atrito, a energia potencial inicial será transformada em outras formas de energia, nesse caso, há atrito entre o fio e o teto, há transformação de energia potencial (parte dela) para energia térmica por isso, o potencial do pêndulo será diferente (*status 4*)
10. A dissipação de energia pela resistência do ar (energia transformada em calor, som, ou qualquer outra forma) (*status 3*)
11. Nesta situação inicialmente temos uma energia potencial que ao longo do tempo vai ganhando energia cinética e perdendo energia potencial. No instante que o pêndulo fica mais próximo da superfície horizontal, a sua energia cinética é máxima. Após um tempo, essa energia vai se transformando em energia potencial. Após vários ciclos de oscilação, e devido a força peso do que atua sobre o pêndulo essa energia patredo

(ilegível) para cinética, vai sofrendo uma redução devida a interação da força da gravidade de que a situação está inserida (*status 3*)

12. Podemos dizer aqui que durante o trajeto houve uma perda de energia considerável para que a massa alcançasse uma altura menor que a altura máxima atingida inicialmente (*status 1*)
13. A energia cinética vai diminuindo até a energia potencial vai diminuindo até ficar parado, na nova altura h (*status 2*)

Termodinâmica (diurno):

1. Isso acontece devido a energia dissipada pelo atrito que ocorre do corpo com o meio (por exemplo, o ar) (*Status 3*).
2. Oscilação amortecida. Parte de energia é dissipada para fora do pêndulo (*Status 2*).
3. O arraste ocasionado pelo atrito com a atmosfera foi o responsável pela dissipação da energia, que acarretou da diminuição da energia mecânica o pêndulo (*Status 4*)
4. Nas oscilações (em cada uma) é gasto energia portanto do instante t_0 ao t foi gasto energia (perdida ou transferida). Portanto na 2ª oscilação o pêndulo já não tinha tanta energia para “subir” à mesma altura (*Status 2*)
5. Há dissipação de energia tanto pela resistência que o ar oferece à massa, e pode haver alguma perda de energia no contato entre o fio e o teto, dessa forma, o pêndulo sucessivamente atingirá alturas menores (*Status 2*)
6. A altura diminui pois parte da energia mecânica do pêndulo é perdida para o ar através do atrito (*Status 3*)
7. Quando o pêndulo é solto ele possui apenas energia potencial. No entanto, por conta da força gravitacional sobre ele, este passa a ter também energia cinética, porém por ter velocidade, surgirá uma força de resistência do ar que consumirá parte de sua energia. Além disso, há dissipações de energia devido ao suporte e dissipação em forma de som. Deste modo, sua energia no instante t será menor do que no instante t_0 (*Status 4*)
8. A massa sofrerá resistência do ar, o que dissipa energia cinética, esta não se conservando. Assim, o movimento é levemente amortecido (*Status 3*)
9. A energia é dissipada no atrito com o ar e pode haver dissipação pelo fio (alongando) (*Status 3*)
10. Parte da energia foi dissipada devido ao atrito do corpo com o ar reduzindo a energia potencial máxima e conseqüentemente a altura máxima do corpo (*Status 3*)
11. O sistema provavelmente está imerso em um meio em que existe a ação de forças dissipativas responsáveis por dissipar parte da energia do corpo entre os instantes t_0 e t . Comumente pode-se simular esta situação

colocando o pêndulo para oscilar sob a ação da força de resistência do ar
(*Status 3*)

12. $E_i = mgh_1$; $E_f = mgh_2$, se $E_i > E_f$ podemos concluir que houve dissipação de energia para o ambiente em forma de calor, som, etc... (*status 4*)

Termodinâmica (noturno):

1. O pêndulo deve estar sujeito a forças dissipativas, como a resistência do ar ou à resistência elástica do fio; tomando-o como extensível (*status 2*).
2. Inicialmente o corpo tem uma energia potencial (proporcional a altura h). Durante o movimento do pêndulo, esta energia potencial se transforma em energia cinética enquanto o pêndulo diminui a altura e, depois, volta a se tornar energia potencial a medida que o corpo sobe do outro lado. No entanto, nesse processo existe ação de forças dissipativas (principalmente atrito) sobre o pêndulo. Desta forma parte da energia mecânica se perde e a altura máxima atingida diminui gradativamente (*status 4*).
3. Há perda de energia cinética, portanto há transformação de energia (ex.: resistência do ar, ou atrito no ponto de contato) (*status 3*).
4. Como nos instantes t_0 e t a esfera está parada a uma altura h e h' , respectivamente, a única força que é exercida é a gravitacional. Como há uma diferença $\Delta E = mg.(h - h')$, podemos dizer que há algum tipo de força não conservativa, como o atrito do ar que aos poucos drena energia do sistema e a dissipa no ambiente (*status 4*).
5. Isso ocorre pois há dissipação de energia devido ao atrito com o ar e também entre o fio e o teto (*status 2*).
6. Enquanto o pêndulo oscila sua energia potencial é transformada em energia cinética e vice-versa. Contudo, devido a resistência do ar, parte da energia mecânica é dissipada na forma de energia térmica (*status 4*).
7. Neste caso, a energia potencial do pêndulo não foi transformada completamente em energia cinética e depois em potencial novamente. Ou seja a energia inicial foi transformada em energia cinética do movimento mais outra forma de energia (*status 3*).
8. Isto ocorre porque há dissipação de energia no pêndulo, o que faz com que parte da energia potencial (adquirida após a suspensão à altura h) seja perdida para, por exemplo, vencer a resistência do fio, ou o atrito com o ar. Assim, a altura máxima vai diminuindo a cada ciclo. Verificar referência: SILVA, H. F., 2012 Análise dinâmica não linear de estruturas sob excitação de suportes não ideal (*status 3*).

9. Como existe o atrito, parte da energia mecânica inicial é dissipada, o que faz que a massa m não atinja a altura inicial (*status 2*).
10. O atrito faz com que a massa perca energia e não consiga subir a mesma altura. Para pequenas oscilações ($\theta < 10^\circ$) a tração do fio será igual a força centrípeta mantendo por mais tempo o peso oscilando, mas ainda assim o atrito irá tirar energia do corpo e as oscilações irão diminuindo de altura até parar as oscilações (*status 2*).
11. (*status 0*).
12. (*status 0*).

Mecânica 2 (diurno):

1. O fenômeno foi que a energia inicial do corpo se “transformou”, isto é ocorreu dissipação, que pode ter sido por atrito do pêndulo com o ar, por exemplo, por isso a energia restante no pêndulo não é suficiente para fazer com que ele chegue à altura inicial (*status 3*).
2. A energia mecânica não se conserva (*status 2*).
3. Existe oscilação entre as quantidades de energia cinética e potencial porém há perda de energia devido a forças de atrito (*status 3*).
4. Há uma dissipação de energia no pêndulo, tanto do contato da corda, quanto da resistência do ar. Por isso a altura é menor (*status 3*).
5. É gravitacional é transformada em cinética pelo trabalho da força peso (*status 2*).
6. Parte da energia cinética transformou-se em energia potencial gravitacional (*status 2*).
7. Há dissipação da energia mecânica em outras formas de energia devido à forças dissipativas como a resistência do ar (*status 3*).
8. O fenômeno consiste de que o pêndulo está imerso em um meio fluído (atmosfera) logo existe uma força de arraste contrária ao seu movimento que dissipa energia. Se esperar tempo o suficiente o pêndulo deve parar em sua posição de repouso, nesse caso toda energia potencial inicial foi dissipada (*status 3*).
9. Se o sistema estivesse isolado o corpo poderia oscilar por muito tempo (indefinidamente) para pequenos ângulos atingindo sempre a mesma altura. Como a altura máxima diminuiu, o corpo pode estar interagindo de alguma forma com o meio de forma que é freado a cada instante da oscilação por uma força como a de atrito com o ar (*status 2*).
10. Se a altura máxima fosse sempre a mesma, teríamos a energia trocando de “lugar” o tempo todo: cinética -> potencial -> cinética. E é isso o que acontece, com uma perda contínua de energia: dissipação na forma de som ou calor. Quando o corpo atinge a altura máxima toda sua energia é potencial, e a altura obtida é proporcional à energia do pêndulo. Portanto, perder energia gradualmente implica perder altura gradualmente (*status 4*).

11. Considerando a gravidade, obviamente, a altura máxima se dá com $v = 0$ e portanto toda a energia é potencial, sendo assim, se a altura máxima é menor, houve diminuição da energia total do corpo oscilatório (*status 2*).
12. Temos que há perda de energia em forma de atrito com o ar, proporcional a velocidade do pêndulo, o que diminui a energia total, fazendo com que a energia potencial, proporcional a altura, diminua, o que faz a altura diminuir (*status 3*).

Disciplina/Curso	Turno	N (%)	0	1	2	3	4	5
Ensino Médio	M	54 (100,0)	12(22,2)	9(16,7)	22(40,7)	11(20,4)		
Fundamentos de Mecânica	N	16 (100,0)	6(37,6)	4(25)	3(18,7)	3(18,7)		
Corpos Rígidos e Fluídos	M	17 (100,0)	4(23,6)	3(17,6)	3(17,6)	6(35,3)	1(5,9)	
Corpos Rígidos e Fluídos	N	22 (100,0)	4(18,1)	1(4,6)	11(50)	5(22,7)	1(4,6)	
Termo-Estatística	M	13 (100,0)		1(7,7)	4(30,8)	7(53,8)	1(7,7)	
Mecânica 2	M	12 (100,0)			5(41,7)	6(50)	1(8,3)	
Termodinâmica	M	12 (100,0)			3(25)	6(50)	3(25)	
Termodinâmica	N	12 (100,0)	2(16,7)		4(33,3)	3(25)	3(25)	

Questão 6:

Ensino Médio (Colégio Parthenon):

55. Esse fenômeno ocorre pois há uma dissipação da energia primeiramente utilizada. Além disso existe a resistência do ar, que impossibilita que o alcance seja o mesmo (*status 2*).
56. (*status 0*).
57. Resistência do ar e imperfeições do fio dissipam a energia da esfera, fazendo com que ela chegue numa altura menor (*status 2*).
58. Depois, a altura máxima que a massa “m” consegue atingir é menor que a altura da qual foi, originalmente, solta é por causa da dissipação de energia e da resistência do ar (*status 2*).
59. A energia vai sendo dissipada conforme o tempo passa, dessa maneira o trabalho realizado pelo pêndulo será cada vez menor até que ele pare (*status 3*).
60. (*status 0*).
61. A energia potencial depende da gravidade, portanto, a força gravitacional “puxa” a esfera para baixo e a energia cinética depende da velocidade; como há energia potencial e cinética no pêndulo, o corpo fica em movimento, e durante os instantes t_0 e t_1 , a força que a esfera tem para subir é menor que a força da gravidade, que então, traz ela para baixo (*status 2*).
62. O pêndulo perde energia e a gravidade começa a ter uma força maior sobre ele impedindo-o de subir até o ponto anterior (*status 2*).
63. Esse fenômeno pode ser explicado pelos conhecimentos sobre energia, pois esse movimento irá diminuir a cada vez que o pêndulo realizar o movimento, pois irá agir sobre ele a pressão e o peso que passa a oscilar. Então a energia aumenta com o tempo (*status 1*).
64. A energia potencial presente na esfera se perde durante o processo, transforma-se em outros tipos de energia (*status 2*).

65. Conforme a esfera oscila, ela dissipa a energia inicial devido à resistência do ar, tanto que, se esse mesmo pêndulo estivesse no vácuo, ele iria continuar a descrever exatamente o mesmo movimento (*status 3*).
66. A energia potencial faz com que o corpo atinja uma maior altura. A ação da gravidade também (*status 1*).
67. Isso acontece principalmente por dois fatores, durante esse movimento há uma dissipação de energia do corpo com o meio e a resistência do ar age como F_{at} (*status 3*).
68. A perda de energia no pêndulo verifica-se por conta da diferença no alcance (altura) que não se repete devido a perda da velocidade no movimento (*status 1*).
69. A esfera não atinge a mesma altura, pois sempre há perda de energia. Teoricamente, a energia inicial, energia potencial (presente no instante t_0) deveria ser igual a energia final, a cinética mais potencial, no entanto há a dissipação de energia (*status 3*).
70. No ponto mais alto, a energia potencial é maior que a energia cinética. A soma da energia potencial e cinética resultará em energia mecânica ($E_m = E_c + E_p$). À medida que a bolinha perde a sua velocidade, a altura vai diminuindo (*status 2*).
71. Conforme o pêndulo se movimenta, este vai perdendo energia com o movimento, diminuindo sua massa (*status 1*).
72. Assim que a massa diminui, há menos força conseqüentemente energia menor para atingir uma altura maior (*status 1*).
73. Ocorreu uma perda de energia pelo corpo, pois no instante “t” esse atinge uma altura menor – em relação à “ t_0 ” -, possuindo, portanto, menor energia potencial: $E_p = mgH$, em que E_p é a energia potencial, m é a massa do corpo, g é a aceleração da gravidade e H é a altura do corpo em relação a um referencial (*status 2*).
74. Esse “fenômeno” com o pêndulo acontece pois, o impulso cedido ao pêndulo vai perdendo a “energia”, o seu movimento (*status 1*).
75. A energia se dissipa durante o fenômeno portanto a altura atingida é menor (*status 2*).
76. Durante o movimento, as energia se conservam, potencial (gerada pela altura (gravidade) e a cinética (gerada pela velocidade ganha durante a

- queda), isso se não considerarmos a resistência do ar, que desacelera o objeto impedindo, a cada oscilação, que a energia cinética se conserve (*status 3*).
77. (*status 0*).
78. (*status 0*).
79. Isso se dá pois o corpo energia (*status 1*).
80. A energia vai se perdendo, ao passo em que se torna outro tipo de energia (ela vai se dissipando) (*status 3*).
81. A energia não foi conservada no movimento da bolinha, ela se perdeu no ambiente. Como a energia foi perdida, a velocidade é menor fazendo com que ela não consiga alcançar a altura de antes (*status 2*).
82. Pelo fato do corpo ter sido solto, a energia mecânica acumulada nesse corpo, através da trajetória, irá ser dissipada devido à resistência do ar e também, porque, depois de solto, não é aplicado nenhuma força a mais para fazê-lo se movimentar, só as que o fazer “parar” o movimento feito (*status 3*).
83. Esse fenômeno ocorre, pois como houve uma variação na massa e logo sua altura atingida foi menor do que a original, pressupõem-se que a massa aumentou e a energia se perdeu, por isso o ritmo foi alterado (*status 2*).
84. A energia potencial inicial ao longo do trajeto em que era mecânica, vai sendo diminuída em função de haver dissipação de energia mecânica o que faz com que ela volte e tenha energia potencial menor (*status 3*).
85. Devido o aumento da corda precisa-se de maior energia para se atinja a altura que foi lançada, devido ao aumento de tensão na corda (*status 1*).
86. A altura atingida no instante t ($t > t_0$) será menor que a inicial porque existe perda da energia no sistema o que fará com que o pêndulo simples pare porque não haverá mais energia para ele realizar o trabalho de movimentar-se em função da corda (*status 2*).
87. Quanto o pêndulo é solto ele sofre a ação da energia cinética (tem velocidade) e da energia potencial (tem altura), ele faz com o ponto de onde saiu um ângulo, fazendo um trajeto de meio círculo com o ponto de onde saiu até o ponto onde chegou o que faz com que a altura de onde saiu ser menor que a altura que chegou no instante $t > t_0$. (*status 2*)
88. (*status 0*).

89. Há uma perda de energia conforme o corpo é solto, pois há gasto dessa energia com o ar, para conseguir atravessar, chegando em t com uma altura menor, o que continuará acontecendo, pois se mostrasse o movimento do pêndulo voltando ele não alcançaria t_0 ou t , alcançaria uma altura menor (*status 3*).
90. (*status 0*).
91. Percebe-se no instante $t > t_0$ que a altura máxima que a massa m consegue atingir é menor que a altura que foi, originalmente, solta porque durante o movimento do pêndulo simples a energia cinética que havia sido transferida foi sendo perdida (*status 3*).
92. O pêndulo não chega a mesma altura por conta da dissipação de energia que os fatores do ambiente alteram, que pode ser um deles a resistência do ar, gravidade, ou até mesmo o fio do pêndulo (*status 2*).
93. No instante em que solta o pêndulo a altura no instante t_0 irá refletir do outro lado portanto depois de um tempo a energia contida no início se perde fazendo com que diminua a altura do sistema (*status 2*).
94. A velocidade dos dois instantes são diferentes, a troca de energia que ocorre vai diminuindo ao decorrer do tempo, assim a altura máxima vai ser menor, pois ela não tem mais a energia suficiente para alcançar uma altura maior (*status 2*).
95. Na primeira vez que foi solto, o corpo dispunha de maior quantidade de energia do que no t ($t > t_0$). Assim, ao voltar, a bola volta com menor energia e alcança uma altura menor, e isso vai acontecendo até a total parada do pêndulo (se não houver outra força externa sobre ele) (*status 2*).
96. Porque quando o pêndulo é solto ele “perde movimento” até chegar ao grau 90° , o que mostra que tem trajetória do movimento completo (*status 1*).
97. (*status 0*).
98. (*status 0*).
99. (*status 0*).
100. Enquanto o pêndulo passa pelo ar, sua energia vai sendo gradativamente perdida, já que a resistência desse gera um atrito sobre a bolinha, portanto quando ela voltar para sua posição inicial, atingirá uma altura menor e isso vai acontecer até o momento em que o pêndulo parar a balança (*status 2*).

101. Em um pêndulo simples se há a ação das forças, o da gravidade que fará com que esse pêndulo ao ser solto “caia”, porém não se poderá retornar à altura de origem porque a força do P(peso) é maior do que o de antes (*status 2*).
102. A medida que o tempo passa o pêndulo vai perdendo energia e atingindo alturas cada vez menores. Isso acontece porque a energia se dissipa e se transforma adquirindo outra forma e então o pêndulo vai “perdendo” energia diminuindo assim seu potencial para atingir a altura máxima (*status 3*).
103. Esse fenômeno acontece porque ao ser solto, o corpo ganha uma energia que não é suficiente para atingir a altura da qual ele foi solto (*status 2*).
104. (*status 0*).
105. (*status 0*).
106. Há uma diminuição da altura atingida, porque parte da energia é dissipada, diminuindo a velocidade e portanto a altura atingida no instante t (*status 2*).
107. O pêndulo não retoma sua energia inicial pois sua força inicial é menor do que a força no segundo estado (*status 2*).
108. (*status 0*).

Fundamentos da Física (noturno):

17. (*Status: 0*)
18. Com o atrito do ar e a energia gravitacional intervem na oscilação do pêndulo, potencializando sua parada (*Status 1*)
19. O atrito que o ar gera na bola gera uma energia que no final diminui a bola (*Status 1*)
20. A energia potencial a cada oscilação diminui com o atrito com o ar que absorve essa energia e o efeito da aceleração da gravidade também contribui para diminuir a altura de oscilação (*Status 3*)
21. A energia presente no t_0 ira se dissipar até t (*Status 2*)
22. (*Status 0*)
23. (*Status 0*)
24. A perda de energia devido ao atrito com o ar (*Status 2*)
25. (*Status 0*)
26. (*Status 0*)
27. A energia de quem soltou o pêndulo é menor que a energia necessária para o pêndulo atingir a altura máxima (*Status 1*)
28. Considerando que não estamos em condições ideais, a corda atritada com o ponto de contato, e a massa m , embora esférica atrita com o ar, dissipando energia, portanto diminuindo o movimento (*Status 2*)
29. Houve atrito com o ar o que explica as alturas menores, infere-se que após certo tempo ficará estático no plano vertical (*Status 1*)
30. (*Status 0*)
31. O pêndulo simples ele oscila, pois ele troca constantemente energia cinética por energia potencial logo se essa energia fosse eternamente conservada ele oscilaria para sempre (*Status 3*)
32. Se houvesse a conservação de energia o corpo atingiria sempre a mesma altura. Entretanto como a altura atingida após um certo período é menor que a altura referência então, por hipótese, houve a dissipação de energia (*status 3*).

Corpos Rígidos e Flúidos (diurno):

18. No instante de lançamento o corpo possui apenas energia gravitacional. Assim ele desce e a energia gravitacional diminui e aumenta-se a energia cinética do sistema (*status 3*)
19. A altura atingida é menor pois com perda de energia para o ambiente (*status 2*)
20. Quando na oscilação da esfera de massa m há um ganho de energia, por isso no 2º instante de tempo, ela atinge uma altura maior (*status 1*)
21. Como o sistema não é isolado, o atrito com o ar gera dissipação da energia inicial, que gera a variação da altura máxima observada (*status 3*)
22. Isso ocorre devido a forças de atrito entre a bola e o ar, dissipando essa energia do sistema (*status 3*)
23. (*Status 0*)
24. A energia potencial gravitacional inicial do pêndulo é dissipada por atrito, com o ar, com o ponto de amarração da corda, etc. Por este motivo a altura final do pêndulo é menor do que a altura inicial (*status 3*)
25. Num sistema ideal, a altura deveria se manter constante eternamente, mas sabemos que a energia é dissipada devido ao atrito com o ar, logo a altura diminui (*status 3*)
26. O atrito do pêndulo com o ar retira energia do pêndulo (*status 2*)
27. (*status 0*)
28. A energia inicialmente potencial é conservada; com a energia cinética agindo (quando há movimento) a energia potencial vai diminuindo até o ponto h_1 , no instante t_0 no qual a bola tem altura menor que a inicial (*status 2*)
29. No momento em que suspendemos a bolinha a uma altura h ela adquire uma certa energia potencial, ao soltarmos a bolinha ela irá perder energia potencial e adquirir energia cinética. Porém ela não irá chegar a mesma altura devido o sistema de energia mecânica não se conservar devido a perda de energia, que a bolinha perde devido o atrito do ar para bolinha, causando perda de energia com térmica por exemplo (*status 4*)
30. Isso acontece pois como o sistema pode não estar isolado, então poderá haver perda energia (*status 1*)

31. (*status* 0)

32. Isso acontece porque parte da energia é dissipada no atrito com o ar. Se não houvesse ar o movimento seria o mesmo sempre (*status* 3)

33. (*status* 0)

34. Provavelmente a resistência com o ar e o atrito com a corda em cima faz com que a altura diminua (*status* 1)

Corpos Rígidos e Fluídos (noturno):

23. Há dissipação da E_c através do atrito com o ar (*status 2*).
24. (*status 0*).
25. A energia se conserva. No entanto a resistência do ar que age sobre a partícula faz com que a velocidade do mesmo diminua (*status 2*).
26. (*status 0*).
27. A altura que a massa m consegue atingir é menor que a altura do qual foi solta, pois apesar da energia se conservar devido a resistência do ar que faz com que a massa m não atinja a altura igual ou maior que t_0 (*status 2*).
28. Pode ter atrito entre o barbante e o ponto onde ele foi fixado, ou seja houve perda de energia potencial (*status 2*).
29. O pêndulo atinge alturas cada vez menor, porque durante sua oscilação a energia cinética vai sendo dissipada pelo atrito com o ar. Logo a quantidade de energia cinética disponível para converter em potencial vai diminuindo, o que explica a diminuição da altura (*status 3*).
30. (*status 0*).
31. (*status 0*).
32. Parte da energia foi dissipada no movimento. A energia cinética no ponto mais baixo não foi conservada (*status 2*).
33. Peso do sistema, mas a tração, num sistema conservativo de energia (*status 1*).
34. A energia foi dissipada pelo atrito com o ar (*status 2*).
35. Dissipação de energia em forma de calor, da resistência do ar, perda de energia em forma de som... (*status 3*).
36. Houve dissipação de energia pelo atrito do ar o que explica as alterações de altura (*status 2*).
37. O pêndulo perde energia ao fazer a oscilação, pois a cada ida ao ponto 'inicia', ele gasta energia de ida e volta. A perda de energia é dada pelo atrito do ar e pelo peso do atrito (*status 2*).
38. conservação do momento, e perda de energia (*status 2*).
39. Se a resistência do ar for considerado, o nosso sofre ação das forças de viscosidade do ar, dissipando energia, então a energia mecânica não se conserva (*status 3*).

40. Nessa situação temos que o pêndulo torna sua energia gravitacional em cinética. Porém pode haver perdas de energia na forma de calor devido ao atrito com o ar e pela tensão causada no fio a bola pode distender o fio (*status 4*).
41. Existe perda por causa do atrito com o ar, o fio também pode influenciar (*status 3*).
42. A energia potencial será transformada em energia cinética, porém com o passar do tempo esta energia é perdida devido as forças externas agindo no sistema se não houvesse estas forças o pêndulo oscilaria para sempre (*status 3*).
43. O atrito com o ar faz com que a altura ao longo do tempo diminua, pois a energia a energia não se conserva (*status 2*).
44. O pêndulo oscila devido a energia cinética e potencial adquirida no seu lançamento (*status 2*).

Termo-Estatística (diurno):

14. Teoricamente isto não ocorreria, não houve dissipação de energia, ou seja, a energia cinética se transformou em calor por atrito com o ar (*status 3*)
15. Quando o pêndulo é solto a energia mecânica do sistema começa a ser dissipada devido ao atrito que a bolinha tem com o ar (*status 3*)
16. Devida a resistência do ar. O sistema perde energia para o meio (*status 2*)
17. Há uma perda de energia, pois existe o ar atritando com a massa, por isso que a altura máxima em t é menor (*status 2*)
18. O atrito da massa pendular (ilegível), sua corda e seu ponto de fixação 'escoam' a energia de movimento do pêndulo à sua vizinhança material, desacelerando-a (*status 2*)
19. Devido ao atrito com o ar, parte da energia inicial da bola foi dissipada por este atrito. Logo, as moléculas de ar, próximas de onde a bola passou começaram a se movimentar com maior velocidade (*status 3*)
20. Se o pêndulo estivesse no vácuo ele não pararia de oscilar e não perderia altura. Entretanto, no caso descrito acima a resistência do ar atrapalha o movimento do corpo, fazendo com que sua energia se dissipe ao longo do tempo (*status 3*)
21. Devido a resistência do ar e a eventuais atritos na junção do fio com o teto, ocorre perda de energia mecânica e assim a altura atingida é menor (*status 3*)
22. Como no caso do bloco com atrito, a energia potencial inicial será transformada em outras formas de energia, nesse caso, há atrito entre o fio e o teto, há transformação de energia potencial (parte dela) para energia térmica por isso, o potencial do pêndulo será diferente (*status 4*)
23. A dissipação de energia pela resistência do ar (energia transformada em calor, som, ou qualquer outra forma) (*status 3*)
24. Nesta situação inicialmente temos uma energia potencial que ao longo do tempo vai ganhando energia cinética e perdendo energia potencial. No instante que o pêndulo fica mais próximo da superfície horizontal, a sua energia cinética é máxima. Após um tempo, essa energia vai se transformando em energia potencial. Após vários ciclos de oscilação, e devido a força peso do que atua sobre o pêndulo essa energia patredo

(ilegível) para cinética, vai sofrendo uma redução devida a interação da força da gravidade de que a situação está inserida (*status 3*)

25. Podemos dizer aqui que durante o trajeto houve uma perda de energia considerável para que a massa alcançasse uma altura menor que a altura máxima atingida inicialmente (*status 1*)

26. A energia cinética vai diminuindo até a energia potencial vai diminuindo até ficar parado, na nova altura h (*status 2*)

Termodinâmica (diurno):

13. Isso acontece devido a energia dissipada pelo atrito que ocorre do corpo com o meio (por exemplo, o ar) (*Status 3*).
14. Oscilação amortecida. Parte de energia é dissipada para fora do pêndulo (*Status 2*).
15. O arraste ocasionado pelo atrito com a atmosfera foi o responsável pela dissipação da energia, que acarretou da diminuição da energia mecânica o pêndulo (*Status 4*)
16. Nas oscilações (em cada uma) é gasto energia portanto do instante t_0 ao t foi gasto energia (perdida ou transferida). Portanto na 2ª oscilação o pêndulo já não tinha tanta energia para “subir” à mesma altura (*Status 2*)
17. Há dissipação de energia tanto pela resistência que o ar oferece à massa, e pode haver alguma perda de energia no contato entre o fio e o teto, dessa forma, o pêndulo sucessivamente atingirá alturas menores (*Status 2*)
18. A altura diminui pois parte da energia mecânica do pêndulo é perdida para o ar através do atrito (*Status 3*)
19. Quando o pêndulo é solto ele possui apenas energia potencial. No entanto, por conta da força gravitacional sobre ele, este passa a ter também energia cinética, porém por ter velocidade, surgirá uma força de resistência do ar que consumirá parte de sua energia. Além disso, há dissipações de energia devido ao suporte e dissipação em forma de som. Deste modo, sua energia no instante t será menor do que no instante t_0 (*Status 4*)
20. A massa sofrerá resistência do ar, o que dissipa energia cinética, esta não se conservando. Assim, o movimento é levemente amortecido (*Status 3*)
21. A energia é dissipada no atrito com o ar e pode haver dissipação pelo fio (alongando) (*Status 3*)
22. Parte da energia foi dissipada devido ao atrito do corpo com o ar reduzindo a energia potencial máxima e consequentemente a altura máxima do corpo (*Status 3*)
23. O sistema provavelmente está imerso em um meio em que existe a ação de forças dissipativas responsáveis por dissipar parte da energia do corpo entre os instantes t_0 e t . Comumente pode-se simular esta situação

colocando o pêndulo para oscilar sob a ação da força de resistência do ar
(*Status 3*)

24. $E_i = mgh_1$; $E_f = mgh_2$, se $E_i > E_f$ podemos concluir que houve dissipação de energia para o ambiente em forma de calor, som, etc... (*status 4*)

Termodinâmica (noturno):

13. O pêndulo deve estar sujeito a forças dissipativas, como a resistência do ar ou à resistência elástica do fio; tomando-o como extensível (*status 2*).
14. Inicialmente o corpo tem uma energia potencial (proporcional a altura h). Durante o movimento do pêndulo, esta energia potencial se transforma em energia cinética enquanto o pêndulo diminui a altura e, depois, volta a se tornar energia potencial a medida que o corpo sobe do outro lado. No entanto, nesse processo existe ação de forças dissipativas (principalmente atrito) sobre o pêndulo. Desta forma parte da energia mecânica se perde e a altura máxima atingida diminui gradativamente (*status 4*).
15. Há perda de energia cinética, portanto há transformação de energia (ex.: resistência do ar, ou atrito no ponto de contato) (*status 3*).
16. Como nos instantes t_0 e t a esfera está parada a uma altura h e h' , respectivamente, a única força que é exercida é a gravitacional. Como há uma diferença $\Delta E = mg.(h - h')$, podemos dizer que há algum tipo de força não conservativa, como o atrito do ar que aos poucos drena energia do sistema e a dissipa no ambiente (*status 4*).
17. Isso ocorre pois há dissipação de energia devido ao atrito com o ar e também entre o fio e o teto (*status 2*).
18. Enquanto o pêndulo oscila sua energia potencial é transformada em energia cinética e vice-versa. Contudo, devido a resistência do ar, parte da energia mecânica é dissipada na forma de energia térmica (*status 4*).
19. Neste caso, a energia potencial do pêndulo não foi transformada completamente em energia cinética e depois em potencial novamente. Ou seja a energia inicial foi transformada em energia cinética do movimento mais outra forma de energia (*status 3*).
20. Isto ocorre porque há dissipação de energia no pêndulo, o que faz com que parte da energia potencial (adquirida após a suspensão à altura h) seja perdida para, por exemplo, vencer a resistência do fio, ou o atrito com o ar. Assim, a altura máxima vai diminuindo a cada ciclo. Verificar referência: SILVA, H. F., 2012 Análise dinâmica não linear de estruturas sob excitação de suportes não ideal (*status 3*).

21. Como existe o atrito, parte da energia mecânica inicial é dissipada, o que faz que a massa m não atinja a altura inicial (*status 2*).
22. O atrito faz com que a massa perca energia e não consiga subir a mesma altura. Para pequenas oscilações ($\theta < 10^\circ$) a tração do fio será igual a força centrípeta mantendo por mais tempo o peso oscilando, mas ainda assim o atrito irá tirar energia do corpo e as oscilações irão diminuindo de altura até parar as oscilações (*status 2*).
23. (*status 0*).
24. (*status 0*).

Mecânica 2 (diurno):

13. O fenômeno foi que a energia inicial do corpo se “transformou”, isto é ocorreu dissipação, que pode ter sido por atrito do pêndulo com o ar, por exemplo, por isso a energia restante no pêndulo não é suficiente para fazer com que ele chegue à altura inicial (*status 3*).
14. A energia mecânica não se conserva (*status 2*).
15. Existe oscilação entre as quantidades de energia cinética e potencial porém há perda de energia devido a forças de atrito (*status 3*).
16. Há uma dissipação de energia no pêndulo, tanto do contato da corda, quanto da resistência do ar. Por isso a altura é menor (*status 3*).
17. É gravitacional é transformada em cinética pelo trabalho da força peso (*status 2*).
18. Parte da energia cinética transformou-se em energia potencial gravitacional (*status 2*).
19. Há dissipação da energia mecânica em outras formas de energia devido à forças dissipativas como a resistência do ar (*status 3*).
20. O fenômeno consiste de que o pêndulo está imerso em um meio fluído (atmosfera) logo existe uma força de arraste contrária ao seu movimento que dissipa energia. Se esperar tempo o suficiente o pêndulo deve parar em sua posição de repouso, nesse caso toda energia potencial inicial foi dissipada (*status 3*).
21. Se o sistema estivesse isolado o corpo poderia oscilar por muito tempo (indefinidamente) para pequenos ângulos atingindo sempre a mesma altura. Como a altura máxima diminuiu, o corpo pode estar interagindo de alguma forma com o meio de forma que é freado a cada instante da oscilação por uma força como a de atrito com o ar (*status 2*).
22. Se a altura máxima fosse sempre a mesma, teríamos a energia trocando de “lugar” o tempo todo: cinética -> potencial -> cinética. E é isso o que acontece, com uma perda contínua de energia: dissipação na forma de som ou calor. Quando o corpo atinge a altura máxima toda sua energia é potencial, e a altura obtida é proporcional à energia do pêndulo. Portanto, perder energia gradualmente implica perder altura gradualmente (*status 4*).

23. Considerando a gravidade, obviamente, a altura máxima se dá com $v = 0$ e portanto toda a energia é potencial, sendo assim, se a altura máxima é menor, houve diminuição da energia total do corpo oscilatório (*status 2*).
24. Temos que há perda de energia em forma de atrito com o ar, proporcional a velocidade do pêndulo, o que diminui a energia total, fazendo com que a energia potencial, proporcional a altura, diminua, o que faz a altura diminuir (*status 3*).

Disciplina/Curso	Turno	N (%)	0	1	2	3	4	5
Ensino Médio	M	54 (100,0)	12(22,2)	9(16,7)	22(40,7)	11(20,4)		
Fundamentos de Mecânica	N	16 (100,0)	6(37,6)	4(25)	3(18,7)	3(18,7)		
Corpos Rígidos e Fluídos	M	17 (100,0)	4(23,6)	3(17,6)	3(17,6)	6(35,3)	1(5,9)	
Corpos Rígidos e Fluídos	N	22 (100,0)	4(18,1)	1(4,6)	11(50)	5(22,7)	1(4,6)	
Termo-Estatística	M	13 (100,0)		1(7,7)	4(30,8)	7(53,8)	1(7,7)	
Mecânica 2	M	12 (100,0)			5(41,7)	6(50)	1(8,3)	
Termodinâmica	M	12 (100,0)			3(25)	6(50)	3(25)	
Termodinâmica	N	12 (100,0)	2(16,7)		4(33,3)	3(25)	3(25)	

Anexo B – Transcrições das Entrevistas (íntegra)

Estudo aprofundado – Güenther

Nome: Güenther

Idade: 17 anos **Período que se encontra matriculado:** 3º ano EM

Modalidade: Ensino Médio

Iniciação Científica: [não se aplica]

Questão 1: A imagem abaixo é de um *looping* localizado no trecho de um trilho. Explique o que ocorre ao soltarmos um corpo no plano inclinado situado à sua esquerda.

Resposta Genérica

S: Depende da altura que a parte da rampa a esquerda tem e de como é o corpo. Esse corpo pode conseguir velocidade o bastante para chegar ao *looping* e passar por ele completamente, ou pode não conseguir subi-lo ou cair em algum momento. É necessário altura o bastante na rampa para que o corpo ganhe velocidade o bastante para fazer o *looping*.

Resposta Implícita (solicitada)

a. **P:** Explique em quais condições o carrinho pode atingir a altura máxima?

S: Ele precisa de ... ele precisa ter uma certa altura pra que a força seja proporcional

Questão 2: A imagem abaixo é de uma mesa de ar. Explique seu funcionamento.

Resposta Genérica

S: Essa mesa apresenta em sua parte superior diversos furinhos. Por cada um desses furinhos sai um jato de ar, fortes o bastante para fazer com que as peças usadas no jogo, jogado sobre ela, não toquem a superfície da mesa, fiquem “flutuando” alguns centímetros sobre ela. Isso permite que não haja atrito entre a mesa e as peças, o que faz com que elas deslizem com facilidade.

Respostas Implícitas (solicitadas)

Ítem A

P: Qual é a função do colchão de ar?

S: O ar tem que manter a peça, o disco né, flutuando ou acima da mesa para que não tenha atrito dele com a mesa e consiga deslizar.

Ítem B

P: Explique o que deve ocorrer, e como, para que o disco inicie o movimento?

S: Tem que ter alguma força atuando sobre ele.

P: Tá! E como que essa força atua?

S: Essa força atua?

P: De onde que vem a força e passa ao disco e como é que ela atua no disco, passa pra ele?

S: Uma pessoa bate usando o ...

P: Batedor...

S: O batedor do jogo, ele vai exercer uma força sobre o disco e essa força vai

fazer com que ele se desloque.

Item C

P: O que ocorre cada vez que o disco colide nas laterais da mesa?

S: O disco vai exercer uma força sobre a parede lateral e a parede lateral vai exercer uma força sobre o disco, vai ser uma força contrária sobre o disco e vai fazer com que o disco volte.

Questão 3: Dois blocos idênticos são colocados a deslizar em dois planos inclinados, de mesma altura H , de acordo com as duas representações abaixo. Explique o que pode ocorrer com os blocos, em cada plano, considerando $L > l$.

Resposta Genérica

S: No primeiro plano, o que apresenta a distância l , o bloco irá deslizar por uma distância menor se comparado ao bloco no segundo plano, o que apresenta a distância L . Por em ambos os planos haver atrito entre o bloco e a rampa, o bloco do primeiro plano irá chegar com uma velocidade maior a linha horizontal, afinal o atrito fará com que o bloco vá perdendo a velocidade conforme ele for deslizando, como o primeiro bloco ficará menos tempo em contato com a rampa, menor será a velocidade perdida. Considerando que os blocos estão a mesma altura do solo e, portanto terão a mesma energia potencial gravitacional.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: O que se pode dizer acerca do desenvolvimento da velocidade dos blocos nas situações apresentadas?

S: Eu tinha pensando assim. Primeiro, os dois blocos eles vão ter, sofrer a mesma ação da gravidade, eles estão na mesma altura, eles vão ter a mesma força acumulada. O primeiro bloco, tem atrito nos dois...nas duas rampas, o primeiro bloco vai ficar menos tempo em contato com a rampa, então ele vai perder menos velocidade, então ele chegaria até o solo primeiro. Já o segundo bloco ele vai ficar mais tempo em contato com a rampa perdendo mais velocidade por causa do atrito, então ele vai ter uma quantidade menor.

Item B

P: O que se pode dizer acerca do tempo de descida dos blocos? Em qual situação o bloco atingirá a superfície no menor tempo?

S: Acho que na primeira ele vai chegar num menor tempo, porque ele tem um..., a rampa vai ser menor, então ele tem que se deslocar menos...

Item C

P: Existe uma tradução matemática para o fenômeno?

S: Do tempo?

P: Qualquer coisa. Pra explicar o fenômeno.

S: Ah, só o tempo você poderia usar mesmo a velocidade média, porque aí você vai ter uma variação de espaço e pra falar do atrito você poderia usar, desenhar as forças e fazer o esquema de forças no bloco

Questão 4: Explique a representação da figura abaixo.

Resposta Genérica

S: Pode-se dizer a partir da figura que os dois veículos se chocaram.

<p>Analisando-se em termos físicos poderíamos aplicar uma de suas leis: toda força gera uma segunda força de mesma intensidade e sentido oposto ao do primeiro. Ou seja, quando os carros se chocaram cada um deles recebeu a força de impacto do outro veículo mais a força normal (força contrária ao do impacto do veículo contra o outro) ao da força de impacto. Também poderia ser citada a força de inércia. Quando os carros começam a se movimentar os corpos que estão dentro dele passam também a se movimentar com a mesma velocidade, quando o veículo para bruscamente, como na batida apresentada na figura, os corpos em seu interior continuam a se movimentar com a velocidade do carro, isso é chamado inércia. Esse é um dos fatores que fazem com que um acidente de carro seja tão perigoso para as pessoas que estão em seu interior.</p>
Resposta Implícita (solicitada)
Item A
P: O que se pode afirmar acerca da velocidade de cada um dos veículos?
<p>S: Eu diria que...os dois estavam se movimentando em sentidos opostos. Aí, quando um bateu no outro, eles se...ao receber a velocidade do outro mais a velocidade que ele tava indo, então você gerou impacto dobrado, cada um deles.</p> <p>P: E a velocidade final?</p> <p>S: Bom, a velocidade final seria zero, pois os dois pararam! Então, provavelmente eles estavam com a mesma velocidade.</p> <p>P: Não sei...pode ser</p>
Item B
P: O que se pode afirmar da deformação?
S: Que eles estavam em altas velocidades.
Item C
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: Sim, você pode usar as fórmulas pra velocidade uniformemente variada ou pra velocidade mesmo.

Questão 5: Dois blocos estão em movimento retilíneo, com mesma direção e sentidos opostos sobre uma superfície horizontal. A representação do esquema pode ser verificada na figura abaixo. Explique o que pode ocorrer.

Resposta Genérica

S: Como um dos blocos possui uma mola, quando eles se chocarem em determinado instante essa mola irá se contrair entre os blocos, acumulando força elástica. Se essa força for forte o suficiente, então a mola conseguirá retornar à sua forma original, passando a força acumulada para os blocos e impulsionando-os novamente em sentidos opostos.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: O que se pode dizer acerca dos movimentos dos blocos antes, durante e após a colisão?

S: Bom, eles estavam indo em sentidos opostos. Quando eles colidiram provavelmente eles pararam e após a colisão a mola que tava... se comprimiu durante a colisão provavelmente empurrou eles pra sentidos opostos e também em sentidos opostos aos que eles estavam inicialmente.

Item B

P: Qual é o papel da mola?

S: A mola faz papel de receber a força do impacto e depois passar aos pouquinhos.

Item C

P: O que se pode dizer acerca das velocidades dos blocos antes, durante e após a colisão?

S: Acho que antes da colisão, vamos falar que as velocidades não são nulas, durante a colisão, provavelmente eles pararam, então eles não tinham velocidade e após as velocidade também não eram nulas.

Item D

P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?

S: Pode usar um esquema de forças também, peso, normal.

Questão 6: A figura abaixo representa dois blocos de gelo unidos por um fio. Entre os blocos há uma mola comprimida ao máximo. Em algum momento o fio acaba por se romper. Explique o que pode ocorrer.

Resposta Genérica

S: A mola comprimida apresenta força elástica, quando o fio se rompe a mola volta à sua forma original, empurrando os blocos de gelo com a força elástica em sentidos opostos. O bloco que está na superfície lisa irá deslizar. Já o bloco que está na superfície rugosa, depende do atrito que existe entre o gelo e a superfície, se esse atrito estático for muito grande (principalmente se a superfície for muito rugosa) ele pode não deslizar, ou então pode deslizar menos que o bloco que está na superfície lisa. Também, talvez por o bloco ser de gelo, o atrito seja diminuído e os dois blocos se comportem de forma

parecida.
Resposta Implícita (solicitada)
Item A
P: O que se pode dizer das velocidades blocos no exato instante em que o fio se rompe?
S: Quando começaram a ganhar velocidade só e empurrar os dois.
P: E as velocidades são iguais?
S: Eu acredito que não, porque uma das superfícies é rugosa, então você vai ter atrito.
Item B
P: O que se pode dizer das distâncias percorridas por cada bloco?
S: O bloco que está na superfície rugosa, ele vai começar perder velocidade um certo instante, porque ele tem o atrito, então ele vai se deslocar menos que o na superfície lisa.
Item C
P: O que se pode dizer acerca da massa do bloco que está na superfície rugosa quando entrar em repouso?
S: Por ser gelo, talvez tenha uma variação mínima, porque ele vai ter um atrito com a superfície e pode perder um pouco da massa dele ao se deslocar.
Item D
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: Sim, pode usar um esquema de forças com atrito, pode usar a velocidade também e a força elástica da mola.

Questão 7: A figura abaixo é a de um relógio de pêndulo devidamente alinhado no eixo vertical. Explique seu funcionamento.

Resposta Genérica

S: O pêndulo é uma “corda” com um peso em uma de suas pontas, estando a outra fixada ao relógio. O pêndulo quando posto em movimento, quando ele passa a oscilar, faz com que engrenagens se movimentem no interior do relógio e assim os ponteiros passam a girar e marcar o tempo.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: Como o relógio de pêndulo é capaz de manter o movimento? Em que situação deixa de funcionar?

S: Acredito que ele tenha engrenagens dentro dele ou algo assim que costuma fazer com que o pêndulo se movimente.

P: Tá! E porque é que ele para de funcionar?

S: Bom, o pêndulo vai balançar, logo, teoricamente não pararia.

P: Então eu vou refazer a pergunta a). Como o relógio de pêndulo é capaz de manter seu movimento?

S: Ah sim. Bom, o pêndulo se movimentando (representa a oscilação pendular com a mão direita) ele mantém o ciclo, ele consegue manter o movimento em todo ciclo.

P: E porque que ele deixa de funcionar?

S: Se o pêndulo não conseguir força necessária para se manter, segue oscilando.

Item B

P: Indique em qual posição a velocidade do pêndulo é máxima.

S: Quando ele estiver na vertical.

Item C
<p>P: Considere um ponto qualquer da trajetória do pêndulo. Faça dois desenhos idênticos situando o pêndulo numa posição qualquer. Num dos desenhos indique as forças que atuantes durante o movimento descendente; noutro, indique as forças que atuantes durante o movimento ascendente.</p>
<p>S:</p> <div style="text-align: center;"> </div>
Item D
<p>P: Nos mesmos desenhos do item “b)” indique o vetor $\Delta S \rightarrow$.</p>
<p>S: Ver item C</p>
Item E
<p>P: Existe uma tradução matemática para explicar o fenômeno?</p>
<p>S: Sim. Tem uma fórmula pra pêndulos.</p>
<p>P: Você lembra mais ou menos? Diz alguma coisinha pra eu saber que fórmula você está falando.</p>
<p>S: Tem uma do ângulo entre a vertical e o tanto que você elevou.</p>

Questão 8: Explique a situação ilustrada na figura abaixo

Resposta Genérica

S: O garoto joga a bolinha para cima com uma certa força e velocidade. A bolinha passa, então, a sofrer uma força contrária e uma desaceleração, por conta da gravidade. Atingindo um ponto em que sua força e velocidade inicial acabem, ela passará, então, apenas a força da gravidade a puxando de volta, o que fará com que ela caia de volta na mão do garoto.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: A partir de que instante, e porque, a esfera adquire movimento vertical ascendente?

S: A partir do momento que o garoto joga a bolinha, porque ele vai estar aplicando uma força e uma velocidade pra cima.

P: E de onde que vem essa velocidade da bolinha? Por que é que ela sobe?

S: Ué, porque o garoto empurra ela

Item B

P: O que se pode dizer acerca da velocidade e da altura da esfera durante todo o movimento?

S: Elas são inversamente proporcionais. Conforme mais alto tiver a bolinha menor vai ser a velocidade dela.

Item C

P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?

S: Sim, tem as fórmulas para movimentos verticais de queda e pra movimento

acelerado.
P: Movimento vertical de queda? Tá! Daria pra usar Torricelli neste caso?
S: Posso escrever aqui a fórmula?
P: Por favor!
S: Torricelli...
P: v quadrado...
S: Ah sim...
$V^2 = v_0^2 + 2g\Delta S$
P: Daria pra usar essa formulinha?
S: Sim, daria.
P: Então a gente vai desenvolver essa formulinha agora. E aí vai ter uma continha. Então você vai fazer aqui, por favor, uma reta vertical e essa reta vai representar a trajetória da bolinha.
S: ...
P: Tá. E aí a gente vai fazer o seguinte. Nessa posição mais alta é o ponto de altura máxima e essa daqui (início da reta) é o ponto de altura mínima. A gente não vai estudar nem aqui (ponto mais baixo) nem aqui (ponto mais alto) porque são extremos. A gente vai estudar o comportamento no meio. Vou pedir pra você fazer uma bolinha aqui e outra aqui.
S: ...
P: Em dois lugares diferentes.
S: ...
P: E aqui (nas bolinhas desenhadas) você vai colocar <i>a</i> e <i>b</i> . Pode ser <i>a</i> e <i>b</i> , <i>b</i> e <i>a</i> tanto faz. Nessa posição, qual seria a velocidade da bolinha e a altura?
S: <i>va</i> e <i>h</i> .
P: E a altura?
S: (escrevendo)
P: Você pode colocar <i>va</i> e <i>ha</i> .
S: (escrevendo)
P: Beleza! E na posição <i>b</i> , qual seria a velocidade e altura?
S: <i>vb</i> .
P: Até aqui, tudo bem?
S: Tudo!
P: Agora é assim. A gente vai admitir, de preferência, <i>g</i> pra baixo, a bolinha subindo.

P:	Aqui é altura b e a . Aqui é variação de altura. Seria o delta S , que na verdade seria delta H , h_b menos h_a né?
S:	Hurum!
P:	Vou pedir pra você escrever essa formulinha agora. Essa é a velocidade final né, na verdade nesse caso aqui né (apontando para Torricelli).
S:	Sim.
P:	Só que como a gente tá tratando só desse pedacinho, qual dos dois é a velocidade final?
S:	O v_b .
P:	Então eu vou pedir pra você reescrever a formulinha e onde que é a velocidade final você vai colocar v_b . E no lugar do delta S coloca delta H .
S:	$v_r^2 = v_0^2 - 2g\Delta h$
P:	Tudo bem! Agora, esse delta H , você não pode escrever h_b menos h_a ?
S:	Sim.
P:	Então você vai reescrever, colocar parenteses aqui e colocar h_b menos h_a .
S:	... $v_r^2 = v_0^2 - 2g(h_b - h_a)$
P:	Legal. Pergunta: Essa formulinha, você consegue explicar o movimento usando esta formulinha né (Torricelli)?
S:	Sim.
P:	E usando essa daqui?
	$v_r^2 = v_0^2 - 2g\Delta h$
S:	Também!
P:	Vou pedir pra você reescrever agora usando a propriedade distributiva.
S:	... $v_r^2 = v_0^2 - 2gh_r + 2gh_a$
P:	Com essa formulinha você é capaz de explicar o movimento?
S:	(pensando)

<p>P: Com essa aqui você é né?</p> $v_{br}^2 = v_o^2 - 2g\Delta h$
<p>S: Sim</p>
<p>P: E com esta aqui também né?!</p> $v_{br}^2 = v_o^2 - 2g(h_{br} - h_o)$
<p>P: E com essa aqui?</p> $v_{br}^2 = v_o^2 - 2gh_{br} + 2gh_o$
<p>S: Agora assim conseguia, mas porque?</p>
<p>P: Olha que legal, aqui tem <i>b</i>, aqui tem <i>a</i>, aqui tem <i>b</i>, aqui tem <i>a</i>. <i>a</i> e <i>b</i> tudo misturado. Vamos separar, tudo que tem <i>b</i> desse lado de cá e tudo que tem <i>a</i> pra cá.</p>
<p>S: ...</p> $v_{br}^2 + 2gh_{br} = v_o^2 + 2gh_o$
<p>P: Do jeito que está agora, você reconhece essa formulinha?</p>
<p>S: Está tendo uma igualdade nas velocidades.</p>
<p>P: Legal! Você consegue explicar o movimento usando essa formulinha?</p>
<p>S: Acho que sim.</p>
<p>P: Beleza. Agora a pergunta: Se aqui tivesse um ponto <i>c</i>, velocidade <i>c</i> e altura <i>c</i>, e você fosse comparar o ponto <i>c</i> com o ponto <i>b</i>; se fosse fazer tudo igualzinho. Aqui no fim, não tem mais o <i>a</i>, com o <i>b</i> e o <i>c</i>, como é que ficaria essa formulinha aí?</p>
<p>S: Pra ela descendo?</p>
<p>P: Subindo.</p>
<p>S: Ficaria <i>vc</i> quadrado, duas vezes a gravidade vezes a altura <i>c</i> igual a <i>vb</i> quadrado mais duas vezes a gravidade vezes a altura <i>b</i>.</p>
<p>P: Se fosse <i>d</i>? <i>d</i> e <i>c</i>? Mudaria o que?</p>
<p>S: Seria a mesma coisa né?!</p>
<p>P: Agora eu vou pedir pra você dividir tudo por 2.</p>
<p>S: ...</p> $\frac{v_{br}^2}{2} + gh_b = \frac{v_o^2}{2} + gh_a$
<p>P: Essa fórmula você reconhece? Você reconhece essa formulinha?</p>
<p>S: Sim, é ...</p>
<p>P: Ô, você consegue explicar o movimento usando essa formulinha?</p>
<p>S: ...</p>

P: Com essa daqui você consegue.
$v_e^2 = v_o^2 - 2g\Delta h$
P: Com essa
$v_e^2 = v_o^2 - 2g(h_e - h_o)$
P: E essa aqui.
$v_e^2 = v_o^2 - 2gh_e + 2gh_o$
S: (pensando)
P: E se você multiplicar tudo por m ?
S: ...
$\frac{m v_e^2}{2} + mgh_e = \frac{m v_o^2}{2} + mgh_o$
P: Essa formulinha, você reconhece?
S: ...
P: Você já viu?
S: Já.
P: Ela te lembra alguma coisa?
S: Sim.
P: O que é que ela te lembra?
S: Lembra... lembra mgh ... mgh é o peso no caso numa altura...
P: Seria o que?
S: energia potencial.
P: E o mv quadrado sobre dois?
S: Também.
P: E tudo isso daqui junto, te lembra alguma coisa?
S: Lembra.
P: O que?
S: São as energias.

Estudo aprofundado – Geraldo

Nome: Geraldo

Idade: 18 anos **Período que se encontra matriculado:** 3º ano EM

Modalidade: Ensino Médio

Iniciação Científica: [não se aplica]

Questão 1: A imagem abaixo é de um *looping* localizado no trecho de um trilho. Explique o que ocorre ao soltarmos um corpo no plano inclinado situado à sua esquerda.

Resposta Genérica

S: Se soltarmos um corpo no plano inclinado esse corpo irá subir e irá voltar com a mesma força que soltamos.

Resposta Implícita (solicitada)

P: Explique em quais condições o carrinho pode atingir a altura máxima?

S: Se a força normal for igual a força peso do carrinho

P: Então ele vai atingir esta altura máxima (apontando para o ponto mais alto da figura) quando...

S: Quando a força peso do carrinho for menor que a normal ou for igual a normal

P: Tá, perfeito! E aí, se ele for lançado de qualquer posição aqui no plano inclinado (indicando o lado esquerdo do *looping* para o aluno, onde está o plano inclinado), essa posição que ele for lançado influencia o resultado?

S: Influencia!

P: No que é que influencia?

S: Influencia na velocidade que você vai soltar.

P: Tá, mas supor que ele tivesse solto com a velocidade zero. Se ele for solto daqui (aponta para o plano inclinado numa posição mais baixa) ou daqui (aponta para o plano inclinado numa posição mais alta que a anterior, comparando duas alturas de lançamento), tem alguma diferença? Se ele for solto daqui e daqui, tem alguma diferença pra ele chegar no ponto mais alto do <i>looping</i> ?
S: Tem só a distância.
P: Porque?
S: Porque o carrinho, eu acho que o carrinho não vai conseguir chegar lá. Ele vai e volta (indicando com a mão direita que o carrinho ficará oscilando numa altura média no interior do <i>looping</i>), porque ele tá indo numa reta daí ele tem que subir e voltar.
P: E pra ele subir até chegar no ponto mais alto? Tem que ser solto de qual lugar? (apontando para o plano inclinado)
S: Daqui de cima (apontando para uma posição mais alta – fora da figura – do plano inclinado).
P: Tem uma altura mínima?
S: ...
P: À partir de qual altura aqui (apontando para o plano inclinado) ele pode ser solto pra chegar nessa posição? (apontando para a altura mais alta do <i>looping</i>)
S: À partir da...pra chegar aqui? (apontando para o ponto mais alto do <i>looping</i>).
P: É...A pergunta é a seguinte: Se ele for solto aqui (numa altura baixa, intermediária), vai fazer isso daqui que você falou (indicando que o corpo irá oscilar no interior do <i>looping</i>); se ele for solto daqui (indicando no plano inclinado uma altura média, mas menor que a do <i>looping</i>), ele vai conseguir chegar lá em cima?
S: Tem que ser da mesma altura né?!
P: Por que?
S: Porque aí ele vai fazer, ele vai partir dum lugar e vai voltar pro mesmo lugar.
P: Na mesma altura?
S: Isso!
P: E aí ele vai conseguir dar uma volta aqui (indicando uma possível trajetória do corpo passando pela altura máxima)?
S: Não volta, ele chega na altura máxima.
P: Tá! E ele chega na altura máxima e dá uma voltinha assim? (indicando uma volta pelo <i>looping</i> com a mão direita no ar). Tem que ser maior, igual ou menor?
S: Tem que ser maior...
P: ok, fechou!

Questão 2: A imagem abaixo é de uma mesa de ar. Explique seu funcionamento.

Resposta Genérica

S: Trata-se de um jogo, de duas pessoas, na qual os participantes, possuem duas “vassourinhas” cada um com uma, e um tipo de disco, e a missão do jogo é acertar o disco com “vassourinha” no buraco que há em cada extremidade da ponta.

Respostas Implícitas (solicitadas)

Ítem A

P: Qual é a função do colchão de ar?

S: É que o disco, os dispositivos que funcionam como “vassoura”, tipo “vassoura” eles deslizam sobre a mesa.

P: Nesse disco aí né?

S: É

P: E se não tivesse o ar?

S: Não iriam conseguir deslizar. Ia ter o atrito.

Ítem B

P: Explique o que deve ocorrer, e como, para que o disco inicie o movimento?

S: Você tem que bater nele.

P: Tá. Quem tem que bater?

S: A “vassoura”!

P: E quando você pega a vassoura e bate no disco, o que é que você está fazendo?

S: Aplicando uma força.

Ítem C

P: O que ocorre cada vez que o disco colide nas laterais da mesa?

S: Eu atuo com uma força sobre ela mesma que, conforme o disco vem eu tenho que fazer um movimento do mesmo jeito que ela vem, não sei...

Questão 3: Dois blocos idênticos são colocados a deslizar em dois planos inclinados, de mesma altura H , de acordo com as duas representações abaixo. Explique o que pode ocorrer com os blocos, em cada plano, considerando $L > l$.

Resposta Genérica

S: Pode ocorrer um atrito entre o bloco e o plano

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: O que se pode dizer acerca do desenvolvimento da velocidade dos blocos nas situações apresentadas?

S: Porque em ambas as posições vai ter atrito, se tocando, igual pra trás, tentando puxar ele.

P: Tentando deixar ele o que?

S: Parado, pra trás. E “próprio” (inaudível) pra encontrar uma força descendo. Aí isso diminui a velocidade.

P: E tem diferença de um pro outro? Porque você falou assim: Diminui a velocidade. Tem diferença de velocidade do primeiro para o segundo?
S: Pra mim não. Só o tamanho que é menor. O primeiro é maior, mas...; esse aqui (aponta para o primeiro plano inclinado) pode até chegar...chegar mais rápido, mas acho que vai chegar.
Item B
P: O que se pode dizer acerca do tempo de descida dos blocos? Em qual situação o bloco atingirá a superfície no menor tempo?
S: Eu tô em dúvida...no primeiro caso.
P: No primeiro caso?
S: É
Item C
P: Existe uma tradução matemática para o fenômeno?
S: Sim.
P: Qual você lembra?
S: Do px.
P: Mais ou menos como é que ela é?
S: Peso do bloco vezes o cosseno do ângulo.
P: Tá e essa formulinha é capaz de usar porque?
S: Por que..pra descobrir a força que o bloco desce.
P: Tem mais alguma que você lembra?
S: Também tem o py...
P: Tem mais alguma?
S: força de atrito...
P: O que mais?
S: Ah...acho que essas três.
P: Então beleza!

Questão 4: Explique a representação da figura abaixo.

Resposta Genérica

S: Pode-se dizer que houve uma colisão entre os carros.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: O que se pode afirmar acerca da velocidade de cada um dos veículos?

S: Na minha opinião, elas são iguais.

P: Antes, durante ou após a colisão?

S: Antes.

Item B

P: O que se pode afirmar da deformação?

S: Que eles colidiram né e a força que um atuou no outro agiu aí a coisa foi igual.

P: O que é que a coisa foi igual?

S: É. A colisão foi igual.

P: E sobre a deformação, porque que eles deformaram?

S: Porque é que deformam.

P: E essa deformação significa alguma coisa?

S: Acho que significa.

P: O que é que ela significa?

S: Significa a não sei...

P: Não tem problema.

Item C

P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?

S: energia cinética eu acho. É!

P: Porque?

S: Por que cada carro vai ter uma massa, vamos dizer assim, uma velocidade, uma distância, pode ser um raio, uma força mecânica. Tem essas duas.
P: O que acontece com essa energia depois da colisão?
S: Não sei dizer.
P: Nesse caso não tem conservação de energia?
S: É, eu acho que conserva sim.
P: Conserva energia mecânica?
S: Conserva.

Questão 5: Dois blocos estão em movimento retilíneo, com mesma direção e sentidos opostos sobre uma superfície horizontal. A representação do esquema pode ser verificada na figura abaixo. Explique o que pode ocorrer.

Resposta Genérica

S: No momento que ambos os blocos se colidir, o bloco que está com a mola irá reagir contra o outro que está sem com a mesma força que lhe vai aplicar.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: O que se pode dizer acerca dos movimentos dos blocos antes, durante e após a colisão?

S: Antes eles estavam num movimento retilíneo numa mesma direção e sentido. Eles estão com uma velocidade né, então...daí no choque...vai chegar um momento durante o choque, tem um que tá com mola né e o outro tá sem. O que tá com mola e o que tá sem durante o choque deles, a mola vai receber a força que ela recebeu no bloco que tá sem. A força que ... lei da ação e reação, por exemplo...

P: Sei...
S: E após elas vão pro mesmo lugar, se chocam. Só que eu acho que... o bloco que com mola vai empurrar o que tá sem.
P: E o bloco com [mola]?
S: Acho que vai tipo ... ele vem pra trás.
Item B
P: Qual é o papel da mola?
S: A mola retorna alguma força elástica eu acho né. Vai ser ela que... durante o choque ela vai aplicar força no bloco que tá sem...
Item C
P: O que se pode dizer acerca das velocidades dos blocos antes, durante e após a colisão?
S: Antes, vou falar que eles tem uma velocidade constante; durante, acho que a que tá sem mola...peraí...não sei como vou explicar; depois , eu sei explicar. Acho que depois da colisão, a que tá sem mola aumenta e a que tá com mola diminui a velocidade.
Item D
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: Tem a força elástica né, kx . Não sei se a força peso chega a interferir nessa situação. A força é igual a massa vezes a aceleração, só que aí essa força vai usar a força da mola
P: Beleza, só isso!

Questão 6: A figura abaixo representa dois blocos de gelo unidos por um fio. Entre os blocos há uma mola comprimida ao máximo. Em algum momento o fio acaba por se romper. Explique o que pode ocorrer.

Resposta Genérica
S: O gelo que está na superfície lisa, irá começar a se movimentar.
Resposta Implícita (solicitada)
Item A
P: O que se pode dizer das velocidades blocos no exato instante em que o fio se rompe?
S: A velocidade? É que tem duas superfícies né? Uma superfície rugosa e uma lisa. O gelo que tá na superfície lisa vai começar a se movimentar, ganhar velocidade; e a que tá na superfície rugosa, vai ter o atrito, tipo prendendo ele, então só...você vai anular a velocidade da superfície lisa.
P: Então, quer dizer, no exato instante em que o fio vai se romper você diz que as velocidades são diferentes?
S: Isso!
P: As velocidades de partida?
S: Isso!
Item B
P: O que se pode dizer das distâncias percorridas por cada bloco?
S: A distância do que tá na superfície lisa vai ser maior do que a que tá na superfície rugosa.
Item C
P: O que se pode dizer acerca da massa do bloco que está na superfície rugosa quando entrar em repouso?
S: Eu não sei.
P: Você acha que a massa vai aumentar, vai diminuir?
S: Acho que vai diminuir.
P: Porque?
S: Ela vai estar parada, eu não sei...Não estou entendendo.
P: Tá. Aqui tá o fio e a gente cortou. Essa [gelo na superfície rugosa] vai pra cá e essa vai pra lá [gelo na superfície lisa]. Aí ela sai daqui desse tamanho (gelo na superfície rugosa), essa massa aqui, aí ela vai pela superfície rugosa e parou lá na frente. O que você pode dizer da massa quando entrar em repouso?

S: Vai derreter, sei lá!
P: Por que?
S: Por causa do atrito né. Por que na superfície rugosa o atrito vai começar a derreter o gelo.
Item D
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: De novo a força de atrito e a gravitacional.

Questão 7: A figura abaixo é a de um relógio de pêndulo devidamente alinhado no eixo vertical. Explique seu funcionamento.

Resposta Genérica
S: Ele irá funcionar, dependendo exclusivamente do horário do relógio
Resposta Implícita (solicitada)
Item A
P: Como o relógio de pêndulo é capaz de manter o movimento? Em que situação deixa de funcionar?
S: Acho que depende do horário. O movimento é de cada minuto não é? Quando dá o horário certo ele para. Eu não sei, eu nunca vi mesmo.
Item B
P: Indique em qual posição a velocidade do pêndulo é máxima.
S: Máxima é quando ele está a 90°.
P: Onde que a velocidade é mínima?
S: Quando ele estiver em linha reta, parada (indica com as mãos a posição

vertical).

P: Assim a velocidade é mínima?

S: Isso!

P: Você pode me indicar, fazendo o favor?

S: ...

Item C

P: Considere um ponto qualquer da trajetória do pêndulo. Faça dois desenhos idênticos situando o pêndulo numa posição qualquer. Num dos desenhos indique as forças que atuantes durante o movimento descendente; noutro, indique as forças que atuantes durante o movimento ascendente.

S:

Item D

P: Nos mesmos desenhos do item “b)” indique o vetor $\Delta \vec{S}$.

S: Ver Item C

Item E

P: Existe uma tradução matemática para explicar o fenômeno?

S: Não lembro.

P: Ou uma formulinha...

S: Centrípeta, Torricelli, a tração, força peso

Questão 8: Explique a situação ilustrada na figura abaixo

Resposta Genérica

S: O garoto aplica uma força na bolinha subir e com a mesma força ela desceu. Lei da ação e reação.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: A partir de que instante, e porque, a esfera adquire movimento vertical ascendente?

S: O instante é a partir do momento que o menino aplica uma força não é?

Item B

P: O que se pode dizer acerca da velocidade e da altura da esfera durante todo o movimento?

S: A velocidade vai se manter e a altura do momento que ele jogou?

P: É assim, ele jogou a bolinha, o que vai acontecer com a altura?

S: Aumentou.

P: E com a velocidade?

S: Permanecer a mesma.

Item C

P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?

S: ... (não audível)

P: Se quiser usar Torricelli, pode?

S: Torricelli? Calma aí...

P: Qual que é Torricelli?
S: É porque é movimento vertical né?
P: Movimento vertical!
S: Ah, então não vai dar tempo...Torricelli tem v igual v zero menos t ... mais t ...s igual s zero mais...
P: Vamos usar Torricelli aqui.
S: Vai usar?...
P: Marca aqui: v quadrado, v zero ao quadrado, mais $2 a \Delta s$.
S: $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$
P: Agora a gente vai fazer o seguinte: A bolinha tá subindo e eu vou pedir pra você fazer aqui uma reta vertical e essa reta vai ilustrar, vai representar o movimento da bolinha. Faça um traço assim...
S: ...
P: Nesse traço vou pedir pra você, por favor, marcar duas bolinhas em posições diferentes. Cada bolinha é a esfera em posições diferentes. Aí a gente aqui, por exemplo, aqui de A e aqui de B, ou o contrário, 1 e 2. A bolinha tá subindo, a aceleração da gravidade é pra baixo.
S: ...
P: Eu vou pedir pra você, quando a bolinha estiver na posição B, aqui vai ser altura B né? Aqui hb e aqui $há$. Eu vou pedir pra você usar Torricelli agora. Esse aqui é a velocidade final né? (apontando a letra v na formulinha Torricelli). Entre esse (apontando para Ha) e esse (apontando para Hb) qual é final, Ha ou Hb ? Aqui é o ponto mais baixo (apontando para o início da trajetória, embaixo) e aqui é o ponto mais alto (apontando para o ponto mais alto na reta vertical que representa a trajetória), tá! Agora a gente vai esquecer este ponto mais alto e mais baixo e a gente vai considerar só esse pedacinho (indicando o segmento de reta compreendido entre Hb e Ha). Entre esse e

esse, A e B, qual é a altura...a posição final?
S: B
P: Tá subindo, por onde ele passa primeiro, pelo A ou pelo B?
S: Passa primeiro pelo A, não pelo B.
P: Qual é a posição final?
S: A.
P: Então, aqui você vai repetir essa formulinha (apontando para a formulinha Torricelli), só que você vai colocar dois índices. Esse é o final (apontando para v na formulinha), o final é o B ou o A?
S: A.
P: Então aqui você vai colocar va e aqui?
S: vb.
P: Então, por favor, faça aqui (apontando para a folha)!
S: ...
P: Isso...isso...Aqui vai ficar menos dois, tá subindo! 2, menos 2, por que tá subindo. Ao invés de S, coloca delta H. Só que, olha que coisa, esse delta H indica que está variando a altura. Então delta H vai ser Ha menos Hb né?
S: $v_A^2 = v_B^2 - 2g\Delta H$
S: Sim.
P: Vou pedir pra você repetir o de baixo e colocar Ha menos Hb.
S: ... $v_A^2 = v_B^2 - 2g(H_A - H_B)$
P: Beleza!
S: ... (foi ao banheiro)
P: Agora, o que eu vou pedir pra você fazer...primeira pergunta: Essa formulinha...eu consigo explicar este movimento (apontando para a reta vertical) com essa formulinha (apontando para a formulinha inicial Torricelli)?
S: Sim.
P: E com essa daqui? (apontando para a última formulinha)
S: Também!
P: Vou pedir pra você fazer a propriedade distributiva. Escreve embaixo, mas agora distribui...
S: ...

$v_A^2 = v_B^2 - 2gH_A + 2gH_B$
P: Você percebe que aqui tem a, no primeiro, e b né?
S: Sim.
P: Então, tem índices a e b dos dois lados. Vou pedir pra você fazer o seguinte: Tudo que tem a colocar no primeiro membro e tudo que tem b do outro lado.
S: ...
$v_A^2 + 2gH_A = v_B^2 + 2gH_B$
P: Essa formulinha aqui, do jeito que ela tá aqui, você consegue explicar esse movimento? (apontando para a trajetória que representa o movimento vertical ascendente)
S: Sim.
P: Tá. O que mudou daqui (apontando para a última formulinha) pra cá (apontando para a primeira formulinha – Torricelli)?
S: ... (inaudível)
P: Vamos supor que tivesse um outro ponto, que fosse um ponto c, então seria hc; agora vou esquecer o b, eu vou comparar o a com o c. Como é que ficaria essa formulinha (última formulinha) só que no lugar do b, o c? Com o a e o c, como ficaria a formulinha?
S: Faz aqui embaixo?
P: Do jeito que quiser, pode ser!
S: ...
$v_c^2 + 2gH_c = v_a^2 + 2gH_a$
P: O que é que você conclui daqui? (apontando para Torricelli com delta H) Ou daqui? (apontando para a primeira formulinha Torricelli)
S: É a parte inicial ou final.
P: Vou fazer mais uma pergunta pra ver se eu entendi o que é que você está falando. Se aqui fosse d, d e c, como é que ficaria a formulinha?
S:
$v_D^2 + 2gH_D = v_c^2 + 2gH_c$
P: Vamos voltar pra essa aqui (formulinha que separa os pontos a e b). Vamos fazer o seguinte agora. Essa formulinha, você reconhece? Você já viu essa formulinha alguma vez na sua vida?
S:
$v_A^2 + 2gH_A = v_B^2 + 2gH_B$
S: Essa formulinha aqui?

P: É. Tudo isso aqui ô!
S: Não. Só desse jeito!
S: $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S$
P: Só desse jeito?
S: É!
P: Então, vou pedir pra você dividir tudo que tá aqui, toda ela por 2! Você vai dividir tudo por 2.
S: Acho que eu já vi...
P: Já viu?
S: Acho que sim!
P: Então, antes de fazer. Você já viu como?
S: Mas eu, mas eu... não era v sobre t ?
P: Então beleza! Vamos fazer então!
S: Vou fazer, se eu lembrar eu te falo! Copiar do jeito que tá ali...
P: É! Dividido por 2!
S: $\frac{v_A^2 + 2gH_A}{2} = \frac{v_B^2 + 2gH_B}{2}$
P: Essa formulinha, do jeito que ela tá aqui (formulinha de cima). Ela é a mesma dessa daqui (Torricelli inicial)?
S: Não... se se dividir os dois lados...
P: Daqui pra cá, o que você fez? (da primeira Torricelli até a expressão final acima). Essa formulinha $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S$
P: é a mesma dessa? $v_A^2 = v_B^2 - 2g(H_A - H_B)$
S: Sim.
P: É a mesma dessa? $\frac{v_A^2 + 2gH_A}{2} = \frac{v_B^2 + 2gH_B}{2}$
S: Não, não é! Essa daqui... $v_A^2 = v_B^2 - 2g(H_A - H_B)$
S: não é igual a essa...

S:

$$\frac{v_A^2 + 2gH_A}{2} = \frac{v_B^2 + 2gH_B}{2}$$

S: ... mas os dois são iguais... (apontando para os dois membros da igualdade). Essa aqui...

S:

$$v_A^2 = v_B^2 - 2g(H_A - H_B)$$

S: é igual a essa?

S:

$$v_A^2 + 2gH_A = v_B^2 + 2gH_B$$

S: É, é igual sim.

P: É igual? Aparentemente elas estavam diferentes...

S: É...

P: Essa formulinha, você já viu alguma vez na sua vida?

S:

$$\frac{v_A^2 + 2gH_A}{2} = \frac{v_B^2 + 2gH_B}{2}$$

P: Ela consegue explicar esse movimento?

S: Consegue.

P: E se você multiplicar tudo por m ?

S: Por m ?

P: Por m .

S: Ah é a de conservação né?

P: conservação do que?

S: Das massas!

P: Das massas?

S: Não, conservação da energia! energia mecânica! energia cinética...

P: Multiplica aí tudo por m .

S: Vezes m ?

S:

$$m\left(\frac{v_A^2}{2} + gH_A\right) = \left(\frac{v_B^2}{2} + gH_B\right)m$$

P: Do jeito que está aqui, dá pra você explicar esse movimento?

S: Consigo!

P: Se ao invés de ser a , fosse c , o que que mudaria?
S: Só a altura...
P: E a velocidade?
S: A velocidade...isso...
P: E se fosse b ?
S: A altura e a velocidade!
P: Perfeito!

Estudo aprofundado - Carolina

Nome: Carolina

Idade: 42 anos **Período que se encontra matriculado:** 6º Semestre

Modalidade: Licenciatura (Bacharel ou Licenciatura)

Iniciação Científica: Não declarado

Questão 1: A imagem abaixo é de um *looping* localizado no trecho de um trilho. Explique o que ocorre ao soltarmos um corpo no plano inclinado situado à sua esquerda.

Resposta Livre-Espontânea

S: No momento que você solta o corpo, imaginando que esse corpo seja uma esfera, esse corpo vai deslizar. Nessa esfera você pode levar em conta, atrito, ou não. Da para discutir a perda de energia, aí ele vai chegar num momento e vai se transformar em energia cinética, que vai ajudar ele a subir, ao chegar lá em cima, você de novo, perde cinética, você tem potencial e ele faz todo o trajeto. A gente sabe que tem um ponto correto né, você tem que saber o ponto certo de colocar esse objeto para ele poder fazer todo esse movimento, senão ele não chega lá, quando ele chegando aqui (120° aproximadamente). Por que se fosse um corpo que não rolasse, na verdade não iria chegar lá. Não sei mais o que falar sobre isso.

Resposta Mediada (Implícita)

Item A

P: Explique em quais condições o carrinho pode atingir a altura máxima?

S: Você vai ter que ter a mesma altura aqui né, se você não tiver perda.

P: Daqui onde?

S: A altura de onde você vai jogar ele deve ser igual à que deseja atingir.

Questão 2: A imagem abaixo é de uma mesa de ar. Explique seu funcionamento.

Resposta Livre-Espontânea

S: Você tem que pôr uma força nessa bolinha, dependendo da forma com que você bater nele, do ângulo que você bater ele vai para um lado ou vai para o outro, se você quer que ela vá para frente você tem que dar uma força nisso (apontando com a mão para o 'lançador'), de forma mais central (nesse momento ela indica a o centro da lateral direita da mesa), se você for usar as laterais desse campo, você vai ter que bater de lado né (indicando o lado esquerdo da mesa com a mão).

Resposta Mediada (Implícita)

Ítem A

P: Qual é a função do colchão de ar?

S: É para diminuir o atrito né? Por que a base dela é muito grande né, então para ela deslizar você tem que manter ela levantada pelo ar (nesse momento faz gesto com as mãos fazendo referência ao ar que sai dos orifícios).

Ítem B

P: Explique o que deve ocorrer, e como, para que o disco inicie o movimento?

S: Tem que dar uma batida nele, tem que ter uma força externa senão ele fica parado.

P: De onde para onde?

S: Do seu “não sei o nome” (indica a peça que o jogador segura para impulsionar o disco) para o disco.
Item C
P: O que ocorre cada vez que o disco colide nas laterais da mesa?
S: É uma força de ação e reação né, a força que ele bateu lá (aponta para as laterais da mesa) ele vai retornar.
P: Como assim?
S: Dependendo se ele bater num ângulo reto ele volta como ângulo reto ele vai voltar como ângulo reto, Se ele bater como ângulo agudo ou obtuso, seja lá o que for, ele vai ter outra trajetória.

Questão 3: Dois blocos idênticos são colocados a deslizar em dois planos inclinados, de mesma altura H , de acordo com as duas representações abaixo. Explique o que pode ocorrer com os blocos, em cada plano, considerando $L > l$.

Resposta Livre-Espontânea
S: Dependendo do ângulo, né, é que aqui (figura da esquerda), o ângulo é maior em relação a esse (figura da direita) né, esse aqui (da esquerda) tá mais inclinado. O que vai acontecer, ele não vai deslizar, a tendência dele é girar, por que essa força que esta segurando ele...
P: A perpendicular.

S: Isso, que é a normal né, a P_y no caso, quanto mais inclinada vai ser menor né, então ela não vai tá tão presa ao plano. Então a tendência dela é inclinar, e aqui (figura da direita), nesse caso ele já vai deslizar até o ponto em que o atrito vai parar ele, já que no caso ele é áspero.

Resposta Mediada (Implícita)

Item A

P: O que se pode dizer acerca do desenvolvimento da velocidade dos blocos nas situações apresentadas?

S: Então, a tendência é dessa (figura da direita) ser menor que essa (figura da esquerda) né

P: Por que você acha isso?

S: Pelo fato de os corpos na situação da direita, eles estarem numa situação de... em... eu tô falando de atrito, mas tem uma força eletromagnética aí né. E esse ângulo propicia que essa força seja maior do que nessa situação (da esquerda).

Item B

P: O que se pode dizer acerca do tempo de descida dos blocos? Em qual situação o bloco atingirá a superfície no menor tempo?

S: Ah! O da primeira figura (esquerda), esse aqui (esquerda) é um movimento louco.

Item C

P: Existe uma tradução matemática para o fenômeno?

S: Na verdade eu vou construir essa expressão né, eu vou colocar todas as forças aí, e eu vou chegar numa expressão pra situação na horizontal e na vertical né. Por que por exemplo: a velocidade vai depender de g , não depende da massa, vai depender da velocidade inicial e da altura.

P: Quais são as forças? Você pode me dizer?

S: Posso desenhar aqui?

P: Pode sim

S: E essa vai ser decomposta né?
P: Essa qual?
S: Essa P, né, em P seno e P cosseno
P: Perfeito, e aí dessa decomposição você chega numa expressão né?
S: Sim, porque se o movimento dele é pra cá né então (indica figura da direita deslizando para baixo na superfície áspera), ele tá deslizando né, a ideia é que ele tenha a velocidade inicial zero né, então ele vai sair daqui (figura da direita no ponto inicial), então a somatória das forças vai ocasionar a máxima aceleração, e dessa equação de movimento, utilizando essas forças tanto em x quanto em y, eu vou conseguir chegar numa situação que eu vou achar velocidade final, consigo achar altura se não me derem né. E mesmo aqui se não me derem força de atrito, você pode chamar esse tipo de força de MKV... né?
P: É, uma constante.
S: O que vai modificar aqui e em vários outros tipos de situações vai ser o k né, a massa sempre tem, eu vou ter uma velocidade, eu acho q nesse caso, a velocidade, ela vai ser ao quadrado, não estou bem certa sobre isso.

Questão 4: Explique a representação da figura abaixo.

Resposta Livre-espontânea

S: É uma colisão, do tipo... que não se perde né, você tem... esses dois conceitos são complicados pra mim, elástico, 'anelástico' (*sic*) e não elástico. Na verdade, é uma colisão não elástica.

P: Por que você fala que é uma coisa não elástica?

S: Por que se fosse elástica ela ia bater e retornar, né, e não foi o que aconteceu, ele bateu e, toda a energia que vem no contato ela é transformada em alguma outra que não é mais uma energia cinética, você tem perda de calor, destruição do tipo de material.

Resposta Mediada (Implícita)

Item A

P: O que se pode afirmar acerca da velocidade de cada um dos veículos?
P: Explique o que você pode dizer sobre a velocidade dos carros. Compare antes da batida e depois.
S: Esse é o tipo de conceito ainda não me é claro, na utilização da quantidade de movimento e da energia.
P: Quando usa um e quando usa outro.
S: É. isso ainda não me é claro.
P: Perfeito. Mas o que você pode me dizer, sobre a velocidade antes e depois da batida?
S: Então... se eu tenho um $E = mv^2/2$ inicial, a velocidade final é zero. Então a energia... Aí é que tá não consigo responder.
P: Não, sem usar a conta.
S: Vem com uma certa velocidade, quer dizer, é um corpo, que parte... e que tem uma velocidade... e nesse momento (da batida) ele não tem mais, a velocidade é zero.
Item B
P: O que se pode afirmar da deformação?
S: Então é o tipo de deformação que num... depois daquela curvinha lá que não volta mais, deformação S (inaudível)
Item C
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: Não me vem na cabeça se tem agora.

Questão 5: Dois blocos estão em movimento retilíneo, com mesma direção e sentidos opostos sobre uma superfície horizontal. A representação do esquema pode ser verificada na figura abaixo. Explique o que pode ocorrer.

Resposta Livre-Espontânea

S: Os dois estão em movimento, o que pode ocorrer, vai depender de cada mola né. Mas o que deve acontecer, é uma coisa assim: se eles têm as mesmas velocidades, esse (aponta para o bloco da esquerda) vai chegar, empurrar a mola, vai continuar esse movimento pra cá (indica movimento para a esquerda com a mão esquerda), até uma situação onde, ele retorna (falando ainda do bloco da direita), mas assim como esse vai retornar (bloco da esquerda ainda), esse (bloco da direita) também vai retornar, mas é diferente de uma coisa, de um tipo de colisão, quer dizer, essa mola aí tá dando... elasticidade não sei, mas aí você tem... (faz gesto de afastamento com as mãos).

Resposta Mediada (Implícita)

Item A

P: Qual é o papel da mola?

S: Ela primeiro vai frear o movimento, depois ela vai fazer com que esse movimento seja (faz gesto do movimento de repulsão com as mãos).

Item B

P: O que se pode dizer acerca das velocidades dos blocos antes, durante e após a colisão?

S: Então, já tá dito aqui né (aponta para a questão cinco), se tem movimento retilíneo em mesma direção e sentidos, eles estão com velocidades iguais, iniciais, então... acho que é isso.

P: E durante a colisão?

S: Durante a colisão? Eu tendo a pensar que esse bloco (bloco da esquerda) vai ser freado pela mola né, mas, esse também (bloco da direita), por que, se ele tivesse fixo né, mas ele não tá fixo, por que chega uma situação, onde toca aqui (indica a mola) que os dois vão ser freados né? E voltam... eu tendo a pensar que ele voltem, não com a mesma velocidade, mas com uma velocidade maior do que chegaram por conta da mola.

Item C

P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?

S: Tem, você vai usar quantidade de movimento pra esse (aponta para bloco da esquerda) só energia cinética, na hora da colisão quando você fizer o estudo na colisão, você vai ter que levar em conta também a energia da mola né.

Questão 6: A figura abaixo representa dois blocos de gelo unidos por um fio. Entre os blocos há uma mola comprimida ao máximo. Em algum momento o fio acaba por se romper. Explique o que pode ocorrer.

Resposta Livre-Espontânea

S: Numa superfície lisa, depende, pode acontecer, às vezes gela tanto que eles não saem do lugar, mas agora que vi a superfície lisa e a rugosa. Então, a tendência desse deve ser correr mais.

P: De qual?

S: Da superfície lisa, do que na superfície rugosa. Acho que é isso.

Resposta Mediada (Implícita)

Item A

P: O que se pode dizer das velocidades blocos no exato instante em que o fio se rompe?
S: Então, ele tá comprimido né? Eu acho que a tendência desse bloco (superfície lisa) é sair primeiro do lugar e com velocidade maior do que esse (superfície rugosa).
Item B
P: O que se pode dizer das distâncias percorridas por cada bloco?
S: Você quer que eu saiba aí em termos de quanto é uma pra outra?
P: Não, não precisa quantificar, dizer que essa vai andar cinquenta metros, não é isso. Mas o que você poderia dizer sobre as distâncias.
S: Ah eu só consigo falar que é maior, que essa (a da superfície lisa) é maior a distância né.
Item C
P: O que se pode dizer acerca da massa do bloco que está na superfície rugosa quando entrar em repouso?
S: Não sei
P: O que acontece com a massa desse bloco (superfície rugosa) desde o momento em que ele parte do repouso até o momento em que ele para?
S: Então, ele deve ser menor, pouca coisa menor. Não sei, tá perdendo massa.
Item D
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: Quando você pede uma função matemática, você pede qualquer função matemática tipo equação horaria que a gente tá acostumado a ver?
P: Qualquer equação que você lembre.
S: Você pode usar (inaudível), por causa da mola né, você vai usar... é, eu vou ter que chegar nela também dependendo da sua pergunta né, usando o peso do bloco, essa superfície deve ter um atrito, eu não sei se tem uma pronta, eu vou ter que fazer toda a construção dela aqui pelas forças.

Questão 7: A figura abaixo é a de um relógio de pêndulo devidamente alinhado no eixo vertical. Explique seu funcionamento.

Resposta Livre-Espontânea

S: Então esse aqui da cordinha né? Esse é o relógio que você dá a corda e o pendulo fica (mostra com as mãos o movimento do pendulo), só que o que acontece conforme a corda vai acabando é que a excursão dele começa a ficar menor.

Resposta Mediada (Implícita)

Item A

P: Como o relógio de pêndulo é capaz de manter o movimento? Em que situação deixa de funcionar?

S: Ele tem uma serie de roldanas, uma roldana maior, uma menor, a maior você dá corda nele e ela vai girando e faz com que ele...

P: As engrenagens né?

S: Isso.

P: Em qual situação ele deixa de funcionar? O relógio de pendulo deixa de funcionar?

S: Na verdade, ele deixa de funcionar quando..., essas coisas que você puxa aqui (indica as cordas na parte inferior do relógio) né, de um lado pro outro diminui, essa é a cordinha que vai levando a engrenagem a funcionar né, os dentes.

Item B

P: Indique em qual posição a velocidade do pêndulo é máxima.

P: Indique em qual posição a velocidade do pendulo é máxima. Acho legal

<p> você desenhar o pêndulo. </p>
<p> S: Se A corda faz para um lado... Ah! Do pendulo? </p>
<p> P: É a do pendulo, só o pendulo esquece a cordinha. A pergunta é: Em qual posição a velocidade do pendulo é máxima? </p>
<p> S: Ah! Tá </p>
<p> P: Você pode escrever Carmem por favor só para indiciar onde é a velocidade máxima ai nesse desenho? Só para indicar onde é. </p>
<p> S: Sim </p> <div data-bbox="667 539 863 719" data-label="Image"> </div>
<p> Item C </p>
<p> P: Considere um ponto qualquer da trajetória do pêndulo. Faça dois desenhos idênticos situando o pêndulo numa posição qualquer. Num dos desenhos indique as forças que atuantes durante o movimento descendente; noutro, indique as forças que atuantes durante o movimento ascendente. </p>
<div data-bbox="580 1061 932 1323" data-label="Image"> </div>
<p> Item D </p>
<p> P: Nos mesmos desenhos do item “b)” indique o vetor $\Delta S \rightarrow$. </p>
<p> S: — <u>Δs</u>? </p>
<p> P: — Na verdade é o vetor de velocidade né? É o D_s. </p>
<p> S: — Ah tá esse estava subindo (Indica o pendulo 2 com a lapiseira). </p>
<p> P: — então pra onde que aponta? </p>
<p> S: Se ele não chegou ao final acho que tá indo pra lá (desenha o vetor na figura 2 em direção a esquerda). E esse pra cá (desenha a seta na figura 1 seguindo para a direita). </p>

Item E

P: Existe uma tradução matemática para explicar o fenômeno?

S: Tem, é $\sqrt{t/g2}$, sobre alguma coisa $g2$, alguma coisa assim.

P: Perfeito...

S: Mas de novo, acho que é mais fácil achar todas as forças e achar o...

P: E achar o resultado.

Questão 8: Explique a situação ilustrada na figura abaixo

Resposta Livre-Espontânea

S: Então aqui, essa bolinha que ele tá jogando pra cima, ela sai com uma certa velocidade, quando ela atinge uma altura onde a sua velocidade vai ser zero, né isso vai depender de uma “g” né, ao contrario, de um peso, ela vai chegar numa situação onde a “v” é zero mas a altura é máxima né, então você tem energia potencial máxima aqui (mostra a posição da bolinha na altura

máxima), ela vai cair, então quando ele chega nesse ponto aqui (indica bolinha da terceira figura, já caindo na mão do garoto), ele chega com velocidade igual a velocidade com que ele saiu, se você desprezar a resistência do ar.
Resposta Mediada (Implícita)
Item A
P: A partir de que instante, e porque, a esfera adquire movimento vertical ascendente?
S: É a força do menino (causa, o porque da bolinha subir).
P: E a partir de qual instante essa esfera adquire movimento pra cima?
S: Ué, é do instante inicial, eu não entendo essa questão.
P: Perfeito.
Item B
P: O que se pode dizer acerca da velocidade e da altura da esfera durante todo o movimento?
S: Então velocidade inicial é a velocidade com que o movimento se iniciou, vai depender da força que o menino colocou ai pra jogar essa bolinha e da massa dela né, o momento em que ela perde velocidade, em que a velocidade chega a zero é a altura máxima, e depois ela retorna ao ponto de origem, com velocidade igual a inicial.
Item C
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: Existe.
P: Qual é?
S: é equação horaria né, é $x = x$ (não entendo a formula que ela fala nessa frase), mas é melhor puxar pela equação do movimento.
P: Daria para explicar esse movimento através da equação do Torricelli?
S: Dá, hoje estava estudando isso, e eu não consegui achar, por que a V fica quadrada, não consegui achar isso, mas dá sim, por que a derivada lá, eles usam..., não consegui achar, mas dá sim. Por que na de Torricelli...(começa a escrever a equação):
P: fica $\sqrt{v^2 = \sqrt{0^2 - 2gh}}$, aí se for pra deixar a raiz tira o quadrado, ou tira a

raiz né fica melhor.

$$v^2 = \sqrt{v_0^2 + 2g\Delta x}$$

S: Pra chegar nisso, como ele saiu com uma força aqui (indica a primeira figura onde o menino joga a bola para o alto), então, a gente vai ter, (escreve a equação força = aceleração da massa).

$$\Sigma F = m \cdot a$$

S: Aqui (indica ainda a primeira figura) eu tenho uma força peso pra cá (traça uma linha imaginária para baixo na primeira figura, em que o menino transfere força para a massa).

$$m \cdot g \cdot v =$$

S: Só que além disso eu tenho a força dele.

P: Que força?

S: A força que ele pôs no... deixa eu lembrar. (Continua a desenhar no papel as forças):

S: Não vou conseguir não

P: Então vamos voltar pro Torricelli, vou te pedir por favor que você reescreva Torricelli aqui, mas com V^2 (Ela desenha).

$$v^2 = v_0^2 - 2gh$$

P: Agora vou pedir para você indicar cada uma dessas letras dos símbolos aí, no desenho.

S: Aqui é v_0 :

S: Esse aqui é v

P: A v_0 é na hora do lançamento né?

S: E esse aqui vai ser altura:

S: E isso aqui é a gravidade:

$$-2gh$$

S: Entao, é só $g h$ mesmo?

P: Por que?

S: Mas é mesmo, por que na verdade no ensino médio a gente faz assim:

$$2g \Delta x$$

P: Δy né?

P: Por favor, faça uma reta aqui (Traça uma linha vertical no lado direito da folha). Essa reta vai representar a trajetória da bolinha, então desenhe a bolinha aqui (mostra um ponto na reta).

S: Aqui?

P: É em qualquer local. E uma outra um pouco mais pra baixo. Esses pontos, são pontos intermediários, esse aqui (aponta para o ponto de baixo na figura)

é um pouquinho acima da mão do menino, e esse aqui é antes de chegar lá em cima, então, não é nem o começo nem o fim. Você pode chamar cada bolinha do jeito que você quiser: PI, XY, ou RS do jeito que você quiser. Coloque uma letra, para diferenciar os dois pontos.

S:

$$v_2^2 = v_1^2 - 2gh$$

P: Agora o Y2 vai ficar V2 né, e o Y1, V1. Agora você pode reescrever essa formula usando esses índices? (mostra a fórmula na folha)

S: Sim:

$$v_2^2 = v_1^2 - 2g \Delta y \quad \rightarrow (y_2 - y_1)$$

P: Agora vou pedir para você reescrever embaixo e ao invés de colocar Δy para você colocar isso aqui (Indica a expressão: $(y_2 - y_1)$)

S: Tá

$$v_2^2 = v_1^2 - 2g(y_2 - y_1)$$

P: E agora usar a propriedade distributiva.

S:

$$v_2^2 = v_1^2 - 2gy_2 + 2gy_1$$

P: Agora, para quase finalizar, você esta vendo que tem vários V e vários y com índices 1 e 2?

S: Sim.

P: Em um dos lados aqui, você vai colocar tudo dois e no outro tudo um.

S:

$$\underline{v_2^2 + 2gy_2} = \underline{v_1^2 + 2gy_1}$$

P: Ao invés de usar essa fórmula:

$$v_2^2 = v_1^2 - 2g \Delta y \quad \rightarrow (y_2 - y_1)$$

P: Eu poderia usar essa?

$$\underline{v_2^2 + 2gy_2} = \underline{v_1^2 + 2gy_1}$$

P: Para explicar a situação?

S: Sim.

P: Qual a diferença que tem de uma pra outra?

S: Não.

P: Qual a diferença de uma pra outra?

S: Nenhuma, aliás, depende se está subindo e se está descendo.

P: Perfeito. Essa fórmula,

$$\underline{v_2^2 + 2gy_2} = \underline{v_1^2 + 2gy_1}$$

você já tinha visto antes?

S: Sim. Então, quando você acha a velocidade de uma situação só, daqueles exercícios que você faz, que você joga alguma coisa e cai né? E ela cai, pra você achar a velocidade final dela...

P: Da queda livre.

S: Isso.
P: Vamos supor que aqui tivesse y_3 antes de terminar a distancia, como ficaria sem você fazer conta e você quisesse comparar com um ou com 2.
S: Ah, não mudaria nada, $v_3^2 + 2g y_3$, não muda nada.
P: Última coisa: Divide tudo por dois só pra ver o que vai acontecer?
S: $\frac{v_2^2 + 2g y_2}{2} = \frac{v_1^2 + 2g y_1}{2}$ $\left(\frac{v_2^2}{2} + \sqrt{g y_2} \right) = \left(\frac{v_1^2}{2} + g y_1 \right)$
P: E agora, você já viu essa fórmula em algum lugar? Em especial essa aqui? $\left(\frac{v_2^2}{2} + \sqrt{g y_2} \right) = \left(\frac{v_1^2}{2} + g y_1 \right)$
S: Então, ela depende do tempo né?
P: E se você multiplicar por M tudo?
S: $m \left(\frac{v_2^2}{2} + \sqrt{g y_2} \right) = \left(\frac{v_1^2}{2} + g y_1 \right) m$
S: Então aqui fica o peso (aponta para a segunda equação) e aqui fica... ai era assim ...
P: Essa fórmula, ela te diz alguma coisa?
S: Sim (risos).
P: O que ela te diz?
S: É eu podia fazer por energia cinética e potencial, antes e depois.
P: Essa formulinha aqui: $m \left(\frac{v_2^2}{2} + \sqrt{g y_2} \right) = \left(\frac{v_1^2}{2} + g y_1 \right) m$ te diz alguma coisa?
P: É conservação de energia (risos). Bom professor você hein?

Estudo aprofundado – Luiz Antonio

Nome: Luiz Antonio

Idade: 24 anos **Período que se encontra matriculado:** Concluído

Modalidade: Licenciatura (Bacharel ou Licenciatura)

Iniciação Científica: Ensino de Física de aceleradores de partículas

Questão 1: A imagem abaixo é de um *looping* localizado no trecho de um trilho. Explique o que ocorre ao soltarmos um corpo no plano inclinado situado à sua esquerda.

Resposta Genérica

S: Dependendo da altura em que se encontra o topo do plano inclinado, o objeto poderá realizar diferentes movimentos.

Há uma altura mínima no qual o objeto abandonado conseguirá ultrapassar o *looping*, abaixo desta altura ele não conseguirá completar a volta, retornando e realizando movimentos oscilatórios até que sua energia seja completamente dissipada pelo atrito e ele entra em repouso.

Uma estimativa da altura pode ser realizado por meio da conservação de energia.

$$mg = \frac{mv^2}{R} \rightarrow v^2 = Rg$$

$$E_A = mgh = E_B = mg2R + \frac{mv^2}{2}$$

$$gh = 2gR + \frac{Rg}{2}$$

$$h = 2R + \frac{R}{2} = \frac{4R + R}{2} = \frac{5R}{2}$$

Figura 1

Resposta Implícita (solicitada)

P: Explique em quais condições o carrinho pode atingir a altura máxima?

S: Então, na realidade o que eu discuti foi que tem uma altura específica no qual você solta ele daqui e ele consegue fazer a volta completa pelo *looping*. Se você jogar abaixo dessa altura mínima ele realiza movimentos oscilatórios até que o atrito dissipe completamente a energia e ele para. Essa estimativa eu realizei aqui (aponta para a estimativa – **figura 1**) especificamente por meio da conservação da energia e na condição mínima de que a velocidade mínima com que ele passa aqui no *looping* o contato dele com a superfície seja mínimo. No fundo eu considerei que a força normal seria aproximadamente zero; seja que o contato dele com a superfície fosse mínimo para que essa...essa é a condição mínima, mas isso é uma estimativa desconsiderando o atrito.

P: Não, beleza! Mas a condição para que ele chegue na altura máxima...

S: A condição para que ele chegue na altura máxima ou para que ele realize a volta completa?

P: Não...só para que ele chegue na altura máxima.

S: A condição é que ele seja abandonado dessa altura mínima e a condição especificamente para que isso aconteça é que quando ele chegue lá em cima a normal seja praticamente nula.

P: Tá bom!

Questão 2: A imagem abaixo é de uma mesa de ar. Explique seu funcionamento.

Resposta Genérica

S: A mesa é utilizada para diminuir consideravelmente o atrito entre o disco e a superfície. As duas “raquetes” transferem quantidade de movimento ao disco, de modo que ele continue seu movimento de acordo com o impulso transferido a ele, podendo ir em direção ao gol ou colidir com a “raquete” adversária alternando novamente sua quantidade de movimento.

Respostas Implícitas (solicitadas)

Ítem A

P: Qual é a função do colchão de ar?

S: É diminuir o atrito do disco com a superfície, basicamente tira o disco do contato com o chão

Ítem B

P: Explique o que deve ocorrer, e como, para que o disco inicie o movimento?

S: Eu, como portador dessa que eu chamei de raquete, eu tenho que realizar uma força sobre ele, fazer com ele colida com o disco, aí nessa colisão ocorre transferência de quantidade de movimento e o disco entra em movimento.

Ítem C

P: O que ocorre cada vez que o disco colide nas laterais da mesa?

S: Ele posiciona o disco de forma que ele ... na realidade é uma coisa que ele configura de acordo com a cabeça dele, isso é uma coisa bem informal ... ele posiciona a “raquete” dele de uma forma que ele imagina, que ele já imagina a próxima jogada, então o disco tá vindo ele posiciona a “raquete” de determinada forma pra contra atacar. Então eu acho que no mesmo momento que ele tá defendendo ele já tá premeditando a próxima jogada.

Questão 3: Dois blocos idênticos são colocados a deslizar em dois planos inclinados, de mesma altura H , de acordo com as duas representações abaixo. Explique o que pode ocorrer com os blocos, em cada plano, considerando $L > l$.

Resposta Genérica

S: Dependendo do coeficiente de atrito entre o plano e o bloco ele pode, ou não, entrar em movimento.

A entrada em movimento ocorre se a componente da força peso paralela ao plano for maior que a força de atrito estático que a superfície exerce sobre o bloco.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: O que se pode dizer acerca do desenvolvimento da velocidade dos blocos nas situações apresentadas?

S: Eu acho que se ele entrar em movimento. Tem uma condição para ele entrar em movimento, entrando em movimento ele realiza um movimento uniformemente acelerado.

P: Tá! E o outro?

S: Então eu coloquei aqui essa superfície áspera (apontando para a primeira superfície) como tendo determinado coeficiente de atrito e dependendo da inclinação ele entra ou não em movimento. Se ele entrar em movimento nos dois...então te respondendo também um pouco a pergunta anterior...é... a aceleração desse movimento acelerado (aponta para o primeiro plano inclinado), ou seja, desse com comprimento l minúsculo vai ser maior do que a aceleração do com comprimento L maiúsculo, isso considerando que os dois

entram em movimento.

Item B

P: O que se pode dizer acerca do tempo de descida dos blocos? Em qual situação o bloco atingirá a superfície no menor tempo?

S: O tempo de descida dos blocos. O tempo de descida dos dois blocos como a altura H é a mesma pros dois eles tem o mesmo tempo de descida.

Item C

P: Existe uma tradução matemática para o fenômeno?

S: A equação do movimento uniformemente variado, que seria o ... a função horária do movimento uniformemente variado que a posição dele aqui nesse plano inclinado é a velocidade inicial dele vezes o tempo mais metade da aceleração que ele adquire multiplicado pelo tempo ao quadrado.

Questão 4: Explique a representação da figura abaixo.

Resposta Genérica

S: É, possivelmente, uma colisão inelástica, onde a energia cinética dos dois carros após a colisão se reduz a 0. Aparentam ter mesma massa, se tiverem a mesma velocidade, pela conservação da quantidade de movimento, é possível que parem logo após a colisão ter ocorrido.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A
P: O que se pode afirmar acerca da velocidade de cada um dos veículos?
S: Então, observando aqui, pelo que eu entendi eu interpretei isso que eles colidiram e pararam. Se eles colidiram e pararam então eu penso que os dois veículos são iguais ... eu acabei colocando aqui (na folha) ... então eles em a mesma massa, então para eles terem parado logo depois da colisão eles tem que ter tido também a mesma velocidade.
Item B
P: O que se pode afirmar da deformação?
S: Então, a deformação é ... eu interpretei essa deformação como a responsável pela redução da energia cinética. Então os dois tinham uma determinada quantidade de energia cinética antes de colidir e quando eles colidiram toda essa energia ela foi transformada em som, em calor e também foi utilizada para deformar o carro.
Item C
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: Eu lembro da conservação da quantidade de movimento, então isso justificou minha resposta já pra eles terem a mesma velocidade e da conservação da energia cinética, tendo em vista que ela foi transformada em outros tipos de energia depois da colisão.

Questão 5: Dois blocos estão em movimento retilíneo, com mesma direção e sentidos opostos sobre uma superfície horizontal. A representação do esquema pode ser verificada na figura abaixo. Explique o que pode ocorrer.

Resposta Genérica
S: Entendo que se os blocos tiverem características equivalentes, como massa e velocidade, eles podem colidir e retornar em sentidos opostos dos iniciais com a mesma velocidade.
Resposta Implícita (solicitada)
Item A
P: O que se pode dizer acerca dos movimentos dos blocos antes, durante e após a colisão?
S: Antes da colisão os dois se movimentam na mesma direção só que em sentidos opostos. Eu interpretei aqui que são dois blocos iguais e com a mesma velocidade. Então durante a colisão a mola comprime transformando a energia cinética dos dois em energia potencial elástica e depois da colisão a mola volta e devolve a mesma energia cinética pros dois, então eles voltam em sentidos opostos, mas com a mesma velocidade.
Item B
P: Qual é o papel da mola?
S: O papel da mola pelo que eu entendi aqui seria de transferir energia cinética de um pro outro e também na quantidade de movimento. Eu acho que esse transfere (apontando para bloco da direita) quantidade de movimento pra mola e a mola transfere pro outro (aponta para bloco da esquerda) e o outro transfere quantidade de movimento pra mola e a mola transfere pra esse da mesma forma que esse (apontando para bloco da esquerda) transmite energia pra mola e a mola pra esse (aponta para bloco da direita) e esse pra mola e a mola pra esse (apontando para o bloco da esquerda).
Item C
P: O que se pode dizer acerca das velocidades dos blocos antes, durante e após a colisão?
S: Eu interpretei que elas seriam iguais.
P: E durante?
S: Durante a colisão eu acho que elas vão se reduzindo igualmente. A redução não é exatamente igual.
Item D

P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?

S: Tem a questão da conservação da energia mecânica. A energia cinética se transformaria em energia potencial elástica e eu acho que dá pra olhar sobre a perspectiva da conservação da quantidade de movimento também.

Questão 6: A figura abaixo representa dois blocos de gelo unidos por um fio. Entre os blocos há uma mola comprimida ao máximo. Em algum momento o fio acaba por se romper. Explique o que pode ocorrer.

Resposta Genérica

S: Ambos saem, inicialmente, com a mesma velocidade. No entanto o gelo 1 terá seu movimento retardado devido a ação das forças de atrito, o que fará com que ele pare depois de um intervalo de tempo.

Já o gelo 2 realizará um movimento uniforme, pois não há nenhuma força agindo sobre ele.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: O que se pode dizer das velocidades blocos no exato instante em que o fio

se rompe?
S: Eu acredito que se os dois blocos de gelos forem iguais os dois saem exatamente com a mesma velocidade. Assim que se romper a velocidade é a mesma.
Item B
P: O que se pode dizer das distâncias percorridas por cada bloco?
S: Eu acredito que o da superfície lisa, se ele continuar na superfície lisa ele vai percorrer uma distância infinita. Se esta superfície lisa for indefinida ele vai percorrer uma distância indefinida. Já o da superfície rugosa vai percorrer uma distância finita porque vai ter uma força que vai fazer com que ele pare num determinado tempo.
Item C
P: O que se pode dizer acerca da massa do bloco que está na superfície rugosa quando entrar em repouso?
S: Agora pensando por esse lado, o bloco de gelo como vai ter o atrito entre ele e a superfície rugosa, esse atrito pode produzir calor e esse calor pode fazer com que ele mude de estado físico. Então eu acho que a massa do bloco de gelo no final, acho que diminui devido ao atrito com a superfície.
Item D
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: Olha eu vou falar por partes. Eu acho que tem primeiro transformação de energia elástica em energia cinética. Nesse caso específico (superfície lisa) me lembra as leis de Newton que ele a primeira lei da inércia e nesse caso aqui (superfície rugosa) eu consigo lembrar daqueles estudos de Calorimetria né, onde o calor produzido é devido ao contato entre a superfície rugosa e o gelo.

Questão 7: A figura abaixo é a de um relógio de pêndulo devidamente alinhado no eixo vertical. Explique seu funcionamento.

Resposta Genérica

S: As características do pêndulo tais como seu comprimento e densidade, definem um intervalo de tempo constante que faz com o ponteiro se altere a cada oscilação completa.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: Como o relógio de pêndulo é capaz de manter o movimento? Em que situação deixa de funcionar?

S: Bom, eu acredito...eu coloquei aqui que pra ele manter o movimento dele é devido à ação da gravidade. E ele determina um... tem determinado intervalo de tempo de oscilação que faz com que o ponteiro mude. Agora... então o que faz ele funcionar é a gravidade e... o que faria ele parar de funcionar?...

P: Aham...

S: É complicado... tô pensando na pergunta, acho que... eu não sei, deve ter algum mecanismo no interior dele que faça com que o pêndulo continue funcionando.

P: Beleza...

S: E de alguma forma este mecanismo para de funcionar ele para.

Item B

P: Indique em qual posição a velocidade do pêndulo é máxima.

S: Eu vou colocar aqui uma linha vertical e nesta posição que ele tá na linha vertical a velocidade dele é máxima (figura 3). Ele tem uma oscilação entre os

dois pontos aqui (desenha as duas posições de máxima altura do pêndulo) e ele realiza esse movimento aqui (desenha um pontilhado representando a trajetória do pêndulo). Aqui nesse ponto mais baixo da trajetória a velocidade dele é máxima.

Item C

P: Considere um ponto qualquer da trajetória do pêndulo. Faça dois desenhos idênticos situando o pêndulo numa posição qualquer. Num dos desenhos indique as forças que atuantes durante o movimento descendente; noutro, indique as forças que atuantes durante o movimento ascendente.

S: Vou fazer primeiro com ele nessa situação com ele descendo, essa sendo a linha vertical (desenha uma linha vertical pontilhada) e ele aqui (desenha o pêndulo ao lado direito da posição de velocidade máxima) certo, e descendo e nesse momento que ele tá descendo ele tem um aumento de energia cinética (**figura 4**). E essa situação aqui (**figura 5**) ele tá subindo na mesma posição ele vai ter uma diminuição da energia cinética dele também da velocidade, mas nas duas situações a velocidade é a mesma, só que numa no instante posterior a velocidade aumenta e noutra a velocidade diminui.

Item D

P: Nos mesmos desenhos do item “b)” indique o vetor $\Delta \vec{S}$.
Ver Item C
Item E
P: Existe uma tradução matemática para explicar o fenômeno?
S: Eu lembro que tem uma equação que relaciona a força de tração, o período de oscilação com o comprimento do fio e a aceleração da gravidade, mas eu não lembro exatamente qual equação é essa. Eu só sei que existe uma relação.

Questão 8: Explique a situação ilustrada na figura abaixo

Resposta Genérica
S: Ao lançar a bolinha a pessoa faz com que ela adquira uma velocidade e, a medida que sobe, a gravidade faz com ela desacelere, reduzindo sua velocidade parando em uma determinada altura, onde ela é novamente acelerada para baixo atingindo a mão da pessoa com a mesma velocidade com que foi atirada.
Resposta Implícita (solicitada)
Item A
P: A partir de que instante, e porque, a esfera adquire movimento vertical ascendente?
S: A partir do momento em que a pessoa exerce uma força sobre ela na

vertical pra cima.
Item B
P: O que se pode dizer acerca da velocidade e da altura da esfera durante todo o movimento?
S: A velocidade ela vai diminuindo com o decorrer do tempo exatamente pela ação da gravidade. Ela adquire uma velocidade com/quando a força exercida sobre ela, vai desacelerando e atinge uma altura máxima.
P: E a altura vai aumentando? É isso?
S: Não...aí a hora que ele chega nessa altura ela para porque ela vai se lá a gravidade vai desacelerando ela até que ela pare.
P: E atinge essa altura e nada acima dela?
S: É!
Item C
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
<p>S: Existe. Observando o ponto de vista eu posso...olhando que isso é um movimento uniformemente variado, então por meio da equação do movimento uniformemente variado, se eu pegar aqui essa altura pode ser um v zero t menos g sobre dois t quadrado, então tendo a velocidade inicial com que o menino joga ela pra cima e aceleração da gravidade eu consigo determinar a altura que ela atinge.</p> <div style="text-align: center;"> $h = v_0 t - \frac{g}{2} t^2$ </div>
P: Última pergunta, eu tô pedindo pra todo mundo. Torricelli daria pra usar, nesse caso?
S: Eu acho que daria também. Na realidade eu acho que é uma mesma tradução (apontando para a equação da figura 5).
P: Você pode fazer uma reta vertical, por favor? Essa reta ela vai representar a trajetória da bolinha.
S: (Construindo a reta vertical através de um tracejado).
P: Eu vou pedir pra você situar duas posições intermediárias que a bolinha

pode passar, só que não pode ser o extremo inferior, a parte que é lançada, nem o ponto mais alto. Então, escolha dois pontos...
S: (Escolhendo dois pontos). Dois pontos aqui.
P: Isso, pode ser aí...
S: Seria um na mão e aqui a altura máxima...
P: E aí dois pontos intermediários...
S: Dois pontos aqui intermediários (situando os pontos). Seria esse ponto aqui e esse ponto aqui.
P: E nesses pontos você dizer a altura e a velocidade da bolinha, por exemplo v_a e v_b , v_a e h_a ...
S: Certo! Nessa altura aqui velocidade v_a e nessa aqui velocidade v_b , considerando que isso daqui está numa altura h_a e esse aqui altura b

P: Imaginando que a gravidade fosse estar indicando, a aceleração da gravidade pra baixo, sentido pra baixo, como ficaria Torricelli?
S: Então...nas duas posições?
P: É, comparando as duas.
S: Então aqui no caso em 'a' eu teria velocidade em 'a' ao quadrado é a velocidade inicial...aí
P: Desculpa, é subindo ...
S: Subindo... (apontando para a posição 'a')
P: Ah, não comparando esse com esse (indicando as posições 'a' e 'b' que estão sendo comparadas). Então esse seria a velocidade inicial (indica a posição 'a') e esse a final (indica a posição 'b').
S: Ah, tá. É esse v_b que é a velocidade nesse ponto ao quadrado (corrigindo o índice 'b' na velocidade da formulinha Torricelli no mesmo instante que indica a posição do ponto 'b') seria a velocidade inicial aqui ao quadrado (corrigindo o índice 'a' na mesma formulinha) menos duas vezes a aceleração da gravidade g multiplicado por essa distância (indica a distância através de uma reta vertical paralelamente à trajetória da bolinha) que ele tá percorrendo aqui que eu vou chamar de H maiúsculo. Esse H maiúsculo é o h_b menos o h_a

$$v_B^2 = v_A^2 - 2gH$$

$$H = h_B - h_A$$

P: Tá. Se eu trocar este H maiúsculo (apontando para a diferença entre h_b e h_a) na equação acima (aponta para Torricelli) e fizer a distributiva, como é que fica?

S: Então fica v_b ao quadrado, v_a quadrado menos dois $g h_b$ mais dois $g h_a$

$$v_B^2 = v_A^2 - 2gh_B + 2gh_A$$

P: Agora é o seguinte, se eu colocar todas as grandezas com mesmo índice de um lado, fazer h_a e v_a de um lado e fazer v_b e h_b de outro, como é que ficaria?

S: Então, v_b ao quadrado menos dois $g h_b$ é igual a v_a ao quadrado mais dois $g h_a$.

P: Essa equação que você acabou de escrever, ela te... é possível explicar o movimento através dessa equação?

S: Eu acho que sim. Isso aqui pra mim tá sendo traduzido pela conservação da energia porque se eu multiplico a massa nos dois lados (acrescentando m em todos os termos) e divido os dois lados por dois (acrescentando um termo 1 sobre 2 em todos os termos) eu tenho esse termo que seria a energia cinética do 'b', esse daqui a energia potencial no 'b', aqui seria a energia cinética em 'a' e energia potencial em 'a'

$$\frac{m v_B^2}{2} + \frac{m 2gh_B}{2} = \frac{m v_A^2}{2} + \frac{m 2gh_A}{2}$$

$E_{cb} \quad E_{pb} \quad E_{ca} \quad E_{pa}$

P: Tá! E se eu trocar, ao invés de ser ponto 'b' for ponto 'c' aqui em cima (aponta para uma posição acima do ponto 'b' e abaixo do ponto de maior altura), como é que ficaria? O que é que mudaria? Comparar o 'a' com o 'c'?

S: Não mudaria nada. Na equação mudaria os índices, então o v_b seria um v_c que seria diferente do v_b e um h_b seria um h_c que seria diferente do h_b .

P: Como é que você percebeu que era a equação da energia?

S: Foi que meio na prática. Eu acho que daqui (apontando para o primeiro membro da figura 9, olhando essa fórmula como tava escrita eu já imaginava o $m v$ quadrado sobre dois e o $m g h$.

P: Tá! Até esse passo aqui (apontando para a figura 8), você já imaginava

isso? Quando chegou aqui (apontando para o figura 8) você já suspeitava que eu ia... (apontando para a figura 9)

S: Já, mas eu acho que era uma coisa meio que indutiva do que eu já sabia, era uma coisa que... já não era uma coisa nova pra mim. Então esse passo que você tava me propondo a fazer em algum momento na universidade eu já tinha feito; se eu não me engano pra deduzir o teorema do trabalho-energia cinética.

P: Então beleza! Perfeito!!

Estudo aprofundado - Sálvio

Nome: Sálvio

Idade: 25 anos **Período que se encontra matriculado:** 8º Semestre

Modalidade: Bacharel (Bacharel ou Licenciatura)

Iniciação Científica: Ciência dos Materiais (supercondutores)

Questão 1: A imagem abaixo é de um *looping* localizado no trecho de um trilho. Explique o que ocorre ao soltarmos um corpo no plano inclinado situado à sua esquerda.

Resposta Genérica

S: O corpo pode tanto fazer o *looping* completo e passar para o outro lado do trilho, mas também pode não ter energia (ou impulso suficiente) para atravessar o *looping*.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: Explique em quais condições o carrinho pode atingir a altura máxima?

S: Exatamente quando ele tiver essa altura né?! Tem que soltar dessa mesma altura né do carrinho à esquerda né?! Supondo que é tudo muito bonito, não tem atrito e tudo mais.

Questão 2: A imagem abaixo é de uma mesa de ar. Explique seu funcionamento.

Resposta Genérica

O ar que sai pelos buracos da mesa contrabalança o peso do disco e isso faz com que o disco se mova sem atrito (ou quase sem atrito).

Respostas Implícitas (solicitadas)

Ítem A

P: Qual é a função do colchão de ar?

S: É exatamente pra deixar este jogo mais veloz você tem que tirar o atrito do disco com a mesa, então você empurra um pouquinho o disco contrabalanceando a força peso.

Ítem B

P: Explique o que deve ocorrer, e como, para que o disco inicie o movimento?

S: É, você precisa de um empurrão externo com essas duas coisinhas aqui ('raquetes').

Ítem C

O que ocorre cada vez que o disco colide nas laterais da mesa?

S: Então, exatamente você vai inferir a trajetória desse disco baseado onde ele vai bater e onde ele vai ir né. Você vai tentar prever pra onde ele vai.

Questão 3: Dois blocos idênticos são colocados a deslizar em dois planos inclinados, de mesma altura H , de acordo com as duas representações abaixo. Explique o que pode ocorrer com os blocos, em cada plano, considerando $L > l$.

Resposta Genérica

S:

- (1) O bloco sentirá maior atração gravitacional do que (2) na direção da superfície, por causa da menor angulação, logo deve descer mais rápido.
- (2) O bloco descerá mais lentamente que o caso (1), pois sua angulação (em relação à horizontal) é maior. Isto será também afetado pelo fato de $L > l$. Ambos os blocos esquentam por causa da superfície áspera.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: O que se pode dizer acerca do desenvolvimento da velocidade dos blocos nas situações apresentadas?

S: Então, a questão é que a superfície áspera tem comprimento (indica com os dedos menor comprimento horizontal na primeira figura) aqui no primeiro caso, a velocidade ela vai ser mais...você vai ter...a velocidade vai se

<p>evoluindo mais rapidamente por causa que você vai ter mais atração gravitacional agindo no bloco. A superfície tem uma angulação maior, então vai ser puxado mais enquanto que no segundo como ele tá menos...mais angulado né, o ângulo que tá aqui entre a horizontal e o cara aqui é maior (indica com os dedos o ângulo entre o plano inclinado e a superfície horizontal no segundo esquema), então ele só pode se movimentar...como ele só pode se movimentar na superfície...não..na direção da superfície (apontando para a superfície do segundo plano inclinado) isso vai fazer com que ele caia mais devagar, a componente da aceleração seja (inaudível)</p>
Item B
<p>P: O que se pode dizer acerca do tempo de descida dos blocos? Em qual situação o bloco atingirá a superfície no menor tempo?</p>
<p>S: É rápido. A velocidade é maior, e o l menor no primeiro (apontando para a primeira figura). Muito menos tempo do que no outro.</p>
Item C
<p>P: Existe uma tradução matemática para o fenômeno?</p>
<p>S: Se eu consigo traduzir matematicamente?</p>
<p>P: Isso.</p>
<p>S: Acho que consigo. Acredito que a tradução matemática tá exatamente com isso. Eu posso considerar a componente vetorial da aceleração na direção do movimento do bloco.</p>
<p>P: Você pode marcar as forças? Em um deles, um só...</p>
<p>S: Ah, as forças?</p>
<p>P: É.</p>
<p>S: Aqui eu teria a força peso assumindo que tá pra baixo. Não sei se tá bem...</p>
<p>P: Beleza.</p>
<p>S: Daí tem uma componente aqui (desenhando a componente g responsável pelo movimento) que é o que ele vai sentir né. A força peso né?! Vou colocar um g aqui... a força peso e nessa daqui vou colocar um g linha que é a parte da aceleração que ele está sentindo.</p>
<p>P: Beleza!</p>

Questão 4: Explique a representação da figura abaixo.

Resposta Genérica

S: Bom, os carros bateram, ou seja, uma colisão.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: O que se pode afirmar acerca da velocidade de cada um dos veículos?

S: O que é que eu posso dizer?

P: É!

S: É... eu preciso saber se esses veículos são iguais. Pra eu poder falar alguma coisa de velocidade eu preciso saber se eles tem a mesma massa. Se caso eles tenham a mesma massa, a velocidade de ambos era a mesma. Eles bateram e pararam.

Item B

P: O que se pode afirmar da deformação?

S: A deformação? A deformação, eu acredito que tá no fato de transferência de energia de um carro pro outro né. Você tem um material e dependendo da energia com que você tem estímulo nesse material você deforma ele, dependendo da energia você consegue deformatar ele. Quer dizer que a transferência de energia entre os dois carros que bateram foi suficiente pra deformatar.

Item C

P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?

S: Deformação?

P: É! Você lembra?

S: De cabeça não lembro, mas...aliás eu nunca soube. Porque isso aqui (apontando para a figura) é uma colisão inelástica, elástica eu não lembro qual exatamente é o nome. Você bate e as coisas ficam paradas. Quer dizer, você tinha uma energia vindo de um lado e uma energia vindo do outro lado, então você transferiu ela pra algum lugar e foi exatamente na deformação, mas falar pra você onde é esse limite eu não sei.

P: Beleza. Bom, beleza!

Questão 5: Dois blocos estão em movimento retilíneo, com mesma direção e sentidos opostos sobre uma superfície horizontal. A representação do esquema pode ser verificada na figura abaixo. Explique o que pode ocorrer.

Resposta Genérica

S: O bloco 1 encostará na mola do bloco 2 e transferirá energia para a mola do bloco 2 e esta irá empurrar novamente o bloco 1 no sentido oposto ao qual estava anteriormente. Há a possibilidade do bloco 2 sofrer um recuo no momento em que o bloco 1 se choca com a mola presa ao bloco 2.

Resposta Implícita (solicitada)
Item A
P: O que se pode dizer acerca dos movimentos dos blocos antes, durante e após a colisão?
S: Bom, antes: Eles estão em direção e sentidos opostos no plano horizontal. Durante a colisão: o bloco 2 tem uma mola né, essa mola tem uma constante definida igual a k , como o bloco 2 está forçando pra um lado a mola e o bloco 1 forçando pro outro essa mola vai ser comprimida, então você vai transferir energia tanto do bloco 2 quanto do bloco 1 pra mola e depois da colisão vai acontecer que essa mola vai tender voltar ao seu comprimento natural, voltar ao seu comprimento de repouso na qual ela não tem energia e ao fazer isso ela pode tanto, dependendo das massas dos blocos, empurrar o bloco 1 pro lado oposto de onde ele estava vindo ou então fazer com que o bloco 1 continue no mesmo sentido ou fazer com que recue o bloco 2; tudo depende das massas.
Item B
P: Qual é o papel da mola?
S: Transferir energia.
Item C
P: O que se pode dizer acerca das velocidades dos blocos antes, durante e após a colisão?
S: Dependendo da massa deles, por exemplo, você pode ter que o bloco 1 bate no bloco 2, a mola se comprime, o bloco 1 para e inverte a velocidade né. E pode acontecer isso também no bloco 2.
Item D
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: Existe. A tradução é a conservação de energia.

Questão 6: A figura abaixo representa dois blocos de gelo unidos por um fio. Entre os blocos há uma mola comprimida ao máximo. Em algum momento o fio acaba por se romper. Explique o que pode ocorrer.

Resposta Genérica

S: Ao se romper, a mola tenderá a voltar a seu estado de repouso, sem energia armazenada, com isso fará que o bloco de gelo da esquerda se movimente na direção $-x^{\wedge}$ (superfície rugosa) e o bloco da direita se movimente no sentido $x^{\wedge}$ (superfície lisa). O bloco da direita não sofrerá atrito com a superfície enquanto que o bloco da esquerda sofrerá atrito, esquentará e perderá massa, que será transformada em água na superfície.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: O que se pode dizer das velocidades blocos no exato instante em que o fio se rompe?

S: Eu considerei a mesma massa de gelo. A velocidade inicial é a mesma.

Item B

P: O que se pode dizer das distâncias percorridas por cada bloco?

S: O gelo que tá na superfície lisa vai até o infinito; na superfície rugosa tem

que parar uma hora.
Item C
P: O que se pode dizer acerca da massa do bloco que está na superfície rugosa quando entrar em repouso?
S: Ele vai perder massa né, pro ambiente ali devido a temperatura, temperatura ambiente também. Então vai esquentar quando sofrer o atrito com a superfície e vai perder um tanto de massa, então tem diferença né do inicial pro final.
Item D
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: É. Exatamente conservação de energia né. Aí vai acontecer que vou ter que saber o quanto de energia eu to perdendo por atrito, o quanto de energia vai ter no final e vai ser tudo energia que tava na mola.

Questão 7: A figura abaixo é a de um relógio de pêndulo devidamente alinhado no eixo vertical. Explique seu funcionamento.

Resposta Genérica
S: Explicação espontânea: O funcionamento do relógio consiste em dar uma unidade de tempo para o relógio, quando o pêndulo volta a um estado igual ao anterior (no eixo y, por exemplo), ou seja, quando tiver posição e velocidades iguais à anteriormente. A unidade de tempo do relógio é então o período do pêndulo.

Resposta Implícita (solicitada)
Item A
<p>P: Como o relógio de pêndulo é capaz de manter o movimento? Em que situação deixa de funcionar?</p>
<p>S: Ele é capaz de manter seu funcionamento quando eu tenho. Ele funciona pelo período do pêndulo né?! O pêndulo vai sofrer força de arrasto, então eu preciso ter alguma coisa no relógio pra dar uma empurradinha nele para manter.</p>
Item B
<p>P: Indique em qual posição a velocidade do pêndulo é máxima.</p>
<p>S: O sujeito indicou o ponto de velocidade máxima na figura abaixo (P_{VM})</p>
Item C
<p>P: Considere um ponto qualquer da trajetória do pêndulo. Faça dois desenhos idênticos situando o pêndulo numa posição qualquer. Num dos desenhos indique as forças que atuantes durante o movimento descendente; noutro, indique as forças que atuantes durante o movimento ascendente.</p>
<p>O sujeito indicou tanto as forças que atuam quanto o sentido do incremento de deslocamento na figura abaixo para o movimento ascendente (primeira figura) e para o movimento descendente (segunda figura)</p>

S: Vou colocar aqui. Este pêndulo está subindo, a velocidade pra cá. As forças são...tem a força centrípeta e a força peso, deixa colocar aqui. força peso, força centrípeta e aqui a velocidade.

P: Daí no outro caso eu vou tá voltando né? Aqui, velocidade. Aqui, força centrípeta e aqui a força peso.

P: Beleza!

Item D

P: Nos mesmos desenhos do item “b)” indique o vetor $\Delta \vec{S}$.

S: Um vai ser esse arco aqui.

Item E

P: Existe uma tradução matemática para explicar o fenômeno?

S: Basicamente a de energia.

Questão 8: Explique a situação ilustrada na figura abaixo

Resposta Genérica

S: O garoto joga a bolinha pro alto que sai com certa velocidade. A bolinha sente a presença do campo gravitacional e é desacelerada até parar. Depois do repouso a bolinha se movimenta com velocidade contrária até cair na mão do garoto novamente com mesma velocidade, se não existir atrito com ar.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: A partir de que instante, e porque, a esfera adquire movimento vertical ascendente?

S: A partir de qual instante?

P: É

S: A partir do instante inicial. Quando a bolinha é solta pelo garoto né?! Porque o garoto está empurrando lá pra cima.

P: Tá certo.

Item B

P: O que se pode dizer acerca da velocidade e da altura da esfera durante todo o movimento?

S: A velocidade vai decrescendo até chegar na altura máxima, depois a bolinha para, a velocidade começa aumentar de novo, mas no sentido oposto que o anterior.

P: E a altura?

S: Que que eu posso dizer a respeito da altura dela?
P: É!
S: Como a altura varia?
P: É! Vai evoluindo!
S: Se vai subindo, tem um máximo, depois vai descer que é a altura inicial.
Item C
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: Existe.
P: conservação de energia?
S: É, desconsiderando sem o ar, sem atrito né?
P: E por Torricelli dá pra explicar?
S: Com Torricelli esse daqui?
P: É.
S: Eu nem lembro direito Torricelli, mas...
P: Nossa! (risos) Você sabe integral, derivada, rotacional, não sei o que, não sei o que...
S: É bem por aí cara. Eu realmente não lembro Torricelli, que tinha aquele vê quadrado, vê zero quadrado, duas vezes a distância né...
P: Fazer uma coisa então. Eu tô pedindo pra todos. É só um exercício. Você pode fazer uma reta assim (indicando reta vertical) imaginando a trajetória da bolinha? Uma reta assim (indicando na folha do sujeito)...
S: Evolução no tempo?
P: Não, não. É só uma reta só. Pra uma pessoa que tá olhando daqui, para um referencial fixo (apontando para uma posição próximo ao menino), como que ela vê essa bolinha?
S: Ah tá! Vamos dizer que aqui ó, aqui seja de onde eu solto a bolinha.
P: Aham...
S: A bolinha vai subir, vai subir, vai subir daí para (desenhando na folha).
P: Na altura máxima, a velocidade é zero, você disse...
S: Sim
P: Beleza. Agora vamos considerar dois pontos quaisquer nessa trajetória. Você pode fazer a bolinha em dois pontos quaisquer?
S: A bolinha aqui e a bolinha aqui.
P: Aí chama um de...dá um nome aí...1 e 2, p e q, tanto faz.
S: 1 e 2.
P: Tá. Qual é a velocidade da bolinha e altura no ponto 1?
S: Sujeito tentando entender a pergunta...
P: Você pode colocar v_1 né...

S: Tá. A velocidade da bolinha no ponto 1? Precisa fazer conta aqui?
P: Não, não. Não tem conta nenhuma. É só pra representar. h_1 , v_1 ...
S: Ah, tá bom então. Eu representaria assim. Em h_1 ela está descendo, seria velocidade 1. E aqui (ponto 2), vamos dizer que ela também tava descendo no instante anterior.
P: Tá bom, beleza!
S: Não faz muito sentido o 1 e 2, mas...
P: Não é não, perfeito! Tá e aí (apontando na figura indicando que falta escrever h_1 e h_2) fica h_1 e h_2 ...
S: Ah tá, me desculpa. h_1 e altura 2.
P: Vamos escrever Torricelli ali ô. Seria legal se ela estivesse subindo (apontando para a figura).
S: Ahh...
P: Mas tanto faz, vamos colocar Torricelli.
S: Torricelli vai ser velocidade...?
P: v ao quadrado...
S: ...ao quadrado... velocidade inicial nesse caso né...
P: É melhor subindo, faz subindo que é mais fácil.
S: Subindo?
P: É.
S: Não tá muito na reta...
P: Não, perfeito...
S: Então fica v_2 ao quadrado, o segundo vai ser v_1 ao quadrado né...
P: Isso...
S: mais...
P: menos...
S: A velocidade 2 tem que ser menos né... (falando consigo próprio e corrigindo o sinal de mais pra menos antes do '2g'), duas vezes a distância entre eles...
P: É, pode colocar h_2 menos h_1 ...
S: h_2 menos h_1 (escrevendo e falando consigo próprio)...é duas vezes delta esse. É só isso né?
P: É...tem um g também, tem um g...
S: Ah é, tem um g. Ah, tô lembrando...tem aceleração
$v_2^2 = v_1^2 - 2(h_2 - h_1)g$
P: Beleza. Com essa expressão, você consegue explicar essa situação? O movimento aí, o desenvolvimento do movimento?
S: Na verdade consegue hein...
P: E se fizer a distributiva aí?
S: Se eu distribuir esse cara aqui? (apontando para $2(h_2 - h_1)g$)

P: É!
S: Aí fica um pouco mais...
P: Vamos lá...faz aí...
<p>S: Aí fica um pouco mais abstrato, vamos dizer assim...menos duas vezes h_2g, mais duas vezes h_1g</p> $V_2^2 = V_1^2 - 2h_2g + 2h_1g$
P: Continua...Agora eu vou pedir pra você fazer o seguinte. Tudo que tem índice dois colocar num lado e o que tem índice um colocar do outro. Vamos ver como é que vai ficar...
<p>S: Isso aqui vai ficar v dois ao quadrado mais $2 h_2 g$ é igual v_1 mais $2 h_1 g$.</p> $V_2^2 + 2h_2g = V_1^2 + 2h_1g$
P: Tem diferença desta expressão (apontando para a expressão acima) desta fórmula para essa (apontando para a fórmula Torricelli)?
S: Não!
P: Você consegue explicar o movimento com essa daqui? (apontando a última formulinha)
S: (Sujeito pensando...) Inverteu... (fala enquanto pensa consigo próprio)...tem alguma coisa estranha aqui... Isso aqui (apontando para o g na formulinha) é aceleração né...aceleração e velocidade ao mesmo tempo juntos? (falando e raciocinando...)...Ah, tem velocidade ao quadrado, tá certo! Então...conservação de velocidade aqui. Eu conseguiria explicar, acho
P: Mas essa é a mesma que essa não é? (apontando alternadamente para a última formulinha e para Torricelli)
S: É, a mesma.
P: Beleza!
S: É porque eu tô acostumado a ver uma coisa...
P: Mudou só a cara né?
S: Aham
P: Se eu colocasse um 3 aqui (apontando para a reta vertical desenhado no início do exercício), vamos supor que a bolinha fosse subir mais e aí eu fosse comparar o 3 com o 2, o que que mudaria?
S: O 3 fica aqui (indicando o primeiro membro da última equação) e o 2 ficaria aqui (apontando para o segundo membro da última formulinha)
P: E se você dividir tudo isso aí por 2?
S: Dividir tudo por 2?
P: É, como é que fica?
S: Você diz na expressão ou aqui (apontando para a reta vertical)?
P: Na formulinha, na expressão...

<p>S: v_2 sobre 2, h_2, v_1 sobre 2, h_1 e g.</p> $\frac{v_2^2}{2} + h_2 g = \frac{v_1^2}{2} + h_1 g$
P: Essa expressão te diz alguma coisa?
S: Se isso aqui me diz alguma coisa?
P: Isso...
S: Velocidade ao quadrado dividido por dois? (sujeito pensando)
P: E se multiplicar por m ? Tudo!
S: Ahhhh...aí sim...
P: Aí te lembra alguma coisa?
<p>S: Aí sim. Agora já entendi essa fórmula. Agora sim que você faz $m v$ quadrado sobre 2 mais $h_2 g$, isso aqui é energia cinética mais potencial e tem conservação de energia aqui também, tem que ser igual.</p> $\frac{m v_2^2}{2} + m h_2 g = \frac{m v_1^2}{2} + m h_1 g$
<p>P: Beleza. Essa fórmula te explica o movimento (apontando para Torricelli). Essa é capaz de te explicar o movimento? (apontando para a última fórmula)</p>
S: Sim.
P: Então beleza.
S: É que em todos os casos eu sempre vim pra essa (apontando para a última fórmula – conservação de energia mecânica)

Estudo aprofundado - Renata

Nome: Renata

Idade: 22 anos Período que se encontra matriculado: 8º Semestre

Modalidade: Bacharel (Bacharel ou Licenciatura)

Iniciação Científica: Laboratório de Filmes Finos

Questão 1: A imagem abaixo é de um *looping* localizado no trecho de um trilho. Explique o que ocorre ao soltarmos um corpo no plano inclinado situado à sua esquerda.

Resposta Genérica

O corpo terá inicialmente energia cinética e potencial. Para que ele possa se deslocar verticalmente, a energia cinética será transformada em energia potencial.

Resposta Implícita (solicitada)

b. **P:** Explique em quais condições o carrinho pode atingir a altura máxima?

S: Ele precisa ter energia cinética o suficiente, é porque é assim. Se considerar...se ele tá por exemplo nesse ponto né ele tem que fazer isso daqui. Então suponhamos que ele tenha uma... que ele esteja a uma certa altura né (indicando com as mãos uma altura do lado esquerdo do *looping*), então ele desce. Nessa descida se ele for solto sem energia cinética, ou seja, se ele for solto sem velocidade nenhuma. Aqui (indicando a altura com a mão esquerda e o movimento do corpo, a partir desta altura com a mão direita) ele já tem uma energia potencial. Essa energia potencial vai se transformando em cinética até que chega aqui em baixo, toda energia potencial foi transformada em cinética. E aqui (na posição de menor altura no *looping*) pra ele subir (indicando que o corpo dará uma volta no *looping*) ele vai perdendo velocidade, vai perdendo energia cinética e vai ganhando energia potencial de

novo. Então ele consegue ter esse mesmo ponto se ele tiver altura né!, eu acho! É porque ele precisa...aqui (indicando que o momento em que o corpo irá iniciar a volta no *looping*) ele vai parar...ele precisa numa condição extrema né..., pode ele pode conseguir passar, eventualmente, mas... aqui (indica o ponto de posição mais alta no interior do pêndulo) ele teria velocidade nula e energia potencial máxima. Então, toda energia potencial daqui (do ponto de lançamento externo), ou energia cinética que ele teria tem que ter nesse ponto (indica a posição de máxima altura no interior do *looping*) pra ele chegar até esse ponto (indica a posição de máxima altura no interior do *looping*).

Questão 2: A imagem abaixo é de uma mesa de ar. Explique seu funcionamento.

Resposta Genérica

S: (oral) O que eu imagino é que é uma mesa lisa, pra ter o menor atrito possível e aí você bate no disco e ele desliza né por transferência de momento.

(escrito) Provavelmente a mesa é polida para que haja menos atrito e quando batemos no disco, há a transferência de momento para o disco de forma que ele se mova.

Respostas Implícitas (solicitadas)

Ítem A

P: Qual é a função do colchão de ar?

S: Ah então, eu não sabia que ele tinha ar. É, eu imagino que seja pra menor atrito, mas como ele faz isso...

P: Não. Pra que que ele serve, só isso! Qual função?

S: Ah tá!

Ítem B

P: Explique o que deve ocorrer, e como, para que o disco inicie o movimento?

S: Ah, então foi acho que o que eu coloquei aqui. Bom, a gente aplica uma

força no...é...como é que chama isso? (apontando para a 'raquete').
P: Sei lá, 'batedor'...
S: Batedor, sei lá e aí por transferência né, ele, por transferência de momento do disco ele passa a se movimentar.
Item C
P: O que ocorre cada vez que o disco colide nas laterais da mesa?
S: Péra...tá vindo o disco até mim..
P: Sim
S: E aí eu preciso defender e atacar?
P: Sim
S: Bom, a defesa eu acho que se dá no momento em que você coloca o ...como é que chama?...o batedor na frente dele e, enfim, sua mão tem uma força que é colocada nesse batedor e aí impede que ele passe né e aí ao mesmo tempo a gente bate com uma força de novo, ocorre transferência de momento de forma que o disco seja impulsionado pra frente.
P: Beleza! Perfeito!

Questão 3: Dois blocos idênticos são colocados a deslizar em dois planos inclinados, de mesma altura H , de acordo com as duas representações abaixo. Explique o que pode ocorrer com os blocos, em cada plano, considerando $L > l$.

Resposta Genérica

(oral)

S: Aqui, explique o que pode acontecer... é no caso, ahh... ele descer e...ele pode, por exemplo, se desligar do...dessa ...

P: Da rampa

S: Da rampa? Ou não é isso que tá em questão?

P: É. Na verdade aqui ela vai fazer isso né?

S: Considerando que de fato ele vai fazer essa trajetória...

P: É!

S: Esse daqui (apontando para a situação A). Mas o que pode ocorrer com os blocos em que sentido? Qual que é essa...

S: Mas o que pode ocorrer com os blocos em que sentido? Qual que é exatamente a pergunta?
P: Se você tivesse duas situações. Uma mais inclinada e outra menos inclinada.
S: Certo
P: Aí você tá olhando lá na rampa mais inclinada
S: Humrum
P: Se você comparar com a outra, a menos inclinada, tem alguma semelhança com os blocos, o movimento dos blocos ou não?
S: Ah tá, por exemplo, se uma tem maior velocidade ou ...
P: Sim.
S: Vamos ver essa daqui...na situação a ela vai ter uma maior aceleração, na situação b vai ter uma menor aceleração. Tem que por alguma coisa? Mais do que isso?
P: Não, se você acha que é suficiente!
(escrito)
Na situação A o disco adquirirá maior aceleração que na situação B.
Resposta Implícita (solicitada)
Item A
P: O que se pode dizer acerca do desenvolvimento da velocidade dos blocos nas situações apresentadas?
S: É, eu acho que...eu não sei se no final das situações se eles vão ter acelerações diferentes né, ou seja quando eles chegarem aqui no final, mas em termos de tempo eu acho que velocidade varia muito mais rápido na primeira situação né em que o plano está mais inclinado. É, por causa da diferença das forças né!
P: Quais forças você está se referindo aí?
S: Ah tá! Tem a força peso né, pra baixo, e a força normal. Então, por exemplo, se a gente tivesse um plano que não fosse inclinado né, que fosse reto, então a força peso e força normal estaria se cancelando. Quanto mais ângulo tem entre elas, maior o ângulo entre elas, maior vai sendo essa diferença.

P: Tá!
S: E portanto, a força resultante é maior e a aceleração é maior também.
P: Beleza.
Item B
P: O que se pode dizer acerca do tempo de descida dos blocos? Em qual situação o bloco atingirá a superfície no menor tempo?
S: Então...intuitivamente assim eu diria que a primeira situação, mas é...eu não sei porque eu lembro de ter visto naqueles laboratórios de ensino didático e eu tô tentando lembrar a situação certa, que tem aqueles planos inclinados né..ah mais é porque um era...então, isso que eu tô tentando lembrar, porque um tinha curvas, um era mais inclinado, o outro era menos inclinado e eles chegavam ao mesmo tempo, intuitivamente aquilo não era é...a gente falaria que não...mas então eu tô tentando lembrar dessa situação e é isso que tá me incomodando, na verdade eu acho que eu deveria prestar mais atenção e fazer mais cuidadosamente assim, mas...eu não sei...intuitivamente eu diria que essa situação A.
P: Beleza, perfeito!
Item C
P: Existe uma tradução matemática para o fenômeno?
S: É, mas em termos de, por exemplo, conseguir o tempo de descida ou...
P: Qualquer tradução matemática.
S: Bom, eu colocaria as forças né e aí veria, por exemplo, é a aceleração do corpo...ahhh...não sei teria...
P: Posso dar um exemplo?
S: Claro!
P: Vamos imaginar aquele ali ô, com ângulo menor.
S: Esse daqui? (apontando para o plano de menor inclinação)
P: Quais são as forças que atuariam nesse bloco?
S: Nesse bloco? (apontando para o bloco de menor inclinação)
P: No meio da rampa, por exemplo.
S: Bom, seria a força normal e a força peso.
P: Tá, numa superfície áspera...
S: Ah, numa superfície áspera...e tem a força de atrito.
P: E sobre a velocidade, como é que você...existe alguma forma de você prever ou prever sobre a velocidade desse bloco lá embaixo. Se a superfície não fosse áspera, se fosse lisa...
S: Ah, se fosse lisa. Sem força de atrito?

P: Isso!
S: Sim, é...
P: Perfeitamente lisa.
S: Bom, a gente veria a resultante da força aqui (no plano inclinado). A gente poderia começar com energia...bom, não sei se é mais fácil começar com energia, mas tem energia potencial porque a gente tem altura H e aí quando ela tá aqui pra baixo, supondo que esse é o ponto zero da situação ela não teria nenhuma energia potencial, então toda ela seria transformada em cinética.
P: Tá.
S: A velocidade né!
P: Beleza! Nesse caso, teria conservação de energia né? Na superfície lisa.
S: Isso!
P: E na superfície áspera?
S: Na superfície áspera...é, daí não daria pra fazer porque tem a dissipação pela força de atrito né, então teria que, talvez saber o coeficiente de atrito dinâmico pra poder ter a resultante das forças. Você teria aceleração e aí você conseguiria pela equação de Torricelli a velocidade.
P: Perfeito.

Questão 4: Explique a representação da figura abaixo.

Resposta Genérica

S: (oral) Que houve uma colisão?!

P: Beleza!

S: (escrita) Houve uma colisão!

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: O que se pode afirmar acerca da velocidade de cada um dos veículos?

S: Bom, eles estão parados...quer dizer, eles estavam vindo de um lado e do outro e aí se chocaram e pararam? Um carregou o outro? Ou...

P: Do jeito que tá aqui.

S: É, então, mas é que não tem...

P: Tá parado né?

S: Mas o que eu digo assim, eles...um chegou a conseguir empurrar o outro na colisão ou não?

P: ...

S: Deixa ver, se fossem duas bolas. E porque se tivesse transferência...é eu acho que...eu diria que eles teriam velocidades próximas pelo menos. É porque é complicado né, como se trata de um corpo rígido a transferência de momento não se dá só na movimentação dos dois corpos né, mas também...é...bom enfim, eu diria que as velocidades eram próximas.

S: Ah, então. Essas... você falou que essa final aqui quando eles já colidiram eles tão parados?

P: É

S: Mas então não foi isso que...a pergunta é: quando eles colidiram eles ficaram parados instantaneamente? Ou...

P: A pergunta é a seguinte: O que ocorre com a velocidade dos veículos antes da colisão e depois da colisão. Como é que é a velocidade antes e depois?

S: Como assim? Eles tavam vindo em velocidades de...em sentidos opostos, numa certa velocidade e depois a velocidade final é zero

Item B
P: O que se pode afirmar da deformação?
<p>S: Ela se dá na colisão, na transferência de momento. Eu acredito que, como eles não são corpos rígidos e, portanto, eles não foram, digamos assim, refletidos eles acabam sendo...acaba deformando o corpo né! Uma parte da energia é de transferência na colisão acaba sendo utilizada para deformação do corpo.</p> <p>P: Beleza!</p>
Item C
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
<p>S: O problema é que mesmo na graduação a gente só trabalha com corpos rígidos né. Pelo menos do que eu me lembro...é...então, por exemplo, nesse caso tem uma deformação e aí não funcionaria conservação de momento, mas...a princípio se pensasse de uma forma mais simples seria por conservação de momento né. O momento inicial dos dois e aí com o momento final, mas com essa deformação acho que fica um pouco mais complicado.</p> <p>P: Perfeito!</p>

Questão 5: Dois blocos estão em movimento retilíneo, com mesma direção e sentidos opostos sobre uma superfície horizontal. A representação do esquema pode ser verificada na figura abaixo. Explique o que pode ocorrer.

Resposta Genérica

S:

S: (escrito) O bloco A quando colidir com o bloco B pode ser refletido, assim como o bloco A.

(oral): É, eu acho que...bom...é o bloco A e o bloco B quando eles... contém uma mola (aponta para o bloco B) ele pode...bom, não sei se chega a essa situação, mas o A eu acho que ele pode ser defletido né, ou seja, voltar e o B também, eu acho que o B também, dependendo da ...de como acontece a colisão acho que ele também pode ir pra trás.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: O que se pode dizer acerca dos movimentos dos blocos antes, durante e após a colisão?

Explicação solicitada:
<p>S: Bom, eles estão em sentidos opostos....é....durante a colisão vai ter uma troca de momento também entre os corpos...ah...e depois eu precisava lembrar em que situações isso ocorre, pois tem várias situações de colisão né....uma que, por exemplo, é os corpos se batem e aí um só é defletido e o outro é defletido pra trás ou tem um arraste e eles ficam grudados, isso eu não lembro. Mas acho que pode acontecer essas duas situações; o A acho que pode tanto ficar é...ele pode arrastar o B ou o B arrastar o A pra frente pro lado...pro sentido que ele tá se movendo ou os dois podem ser jogados pra trás né (faz gesto com as mãos indicando afastamento dos blocos).</p>
Item B
<p>P: Qual é o papel da mola?</p>
<p>S: É, acho que a mola vai absorver um pouco impacto, ao invés do bloco B sofrer sozinho este impacto ele vai ter uma mola, então uma parte da força que...uma parte do momento que vai ser transferido pelo bloco A vai ser usado pra contrair essa mola né...é...acho que é nesse sentido que ele absorve o impacto.</p>
Item C
<p>P: O que se pode dizer acerca das velocidades dos blocos antes, durante e após a colisão?</p>
<p>S: É bom...inicialmente eles estão em velocidades em sentidos opostos...ahn...aí eu acho que finalmente pode acontecer essas três situações né, em que ou os dois blocos irem juntos pra direção que tava inicialmente o corpo A ou pode acontecer a mesma coisa com o corpo B né, ou seja, o A se arrastar ou, finalmente, os dois irem cada um pro...voltarem</p>
Item D
<p>P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?</p>

Questão 6: A figura abaixo representa dois blocos de gelo unidos por um fio. Entre os blocos há uma mola comprimida ao máximo. Em algum momento o fio acaba por se romper. Explique o que pode ocorrer.

Resposta Genérica

S: (oral)

S: Só uma pergunta: Ela tá em situação de equilíbrio ou...

P: Está, momentaneamente sim.

S: Ah não, o que eu digo assim...ela tá...se ela não tivesse aqui entre os gelos ela estaria contraída ou taria...

P: A mola?

S: É

P: Entre os gelos ela está contraída.

S: Ah, ela tá contraída...ah, então tá

P: Está comprimida né...

S: Aham

S: (escrito) Acredito que quando o fio se romper, o gelo que está na superfície lisa se deslocará.

(oral)

S: É...eu acho que vai acontecer isso, como em uma é uma superfície que tem atrito e na outra não, é, se a mola tá contraída quando o fio se romper, ou seja, não houver mais ligação entre os gelos ... ahnn....se for possível que os gelos se desgrudem da mola eu acho que o gelo na superfície lisa vai ser jogado pra mola descomprimir, distender...

P: E o outro gelo? O que está na superfície rugosa?
S: É, eu acho que depende da força de atrito, se a força que a mola exercer sobre o gelo for maior que a força de atrito estática eu acho que ele pode se mover também.
P: Tá!
Resposta Implícita (solicitada)
Item A
P: O que se pode dizer das velocidades blocos no exato instante em que o fio se rompe?
Explicação solicitada:
S: É, eu acho que...o que pode se dizer, quase com certeza é que o gelo na superfície lisa vai ter uma velocidade maior.
Item B
P: O que se pode dizer das distâncias percorridas por cada bloco?
S: Da superfície lisa vai ser maior porque tem menor atrito. Tem menor não, não tem atrito
Item C
P: O que se pode dizer acerca da massa do bloco que está na superfície rugosa quando entrar em repouso?
S: Se eles tiverem se derretendo...bom...da superfície lisa se não tiver nenhuma força ele não para né, se for numa superfície perfeitamente lisa. Da superfície rugosa, é eu acho que eles vão ter a mesma massa, eu acho que ... não sei...é eu acredito que o atrito não vá influenciar num maior ou menor derretimento do gelo, eu acho que é mais a temperatura, talvez se influenciar é uma questão muito menor eu não sei.
P: Isso significa que a massa dele no começo é igual a massa final do gelo na superfície rugosa?
S: É...eles estão derretendo, ou seja, tá uma temperatura menor que o ponto de fusão?
P: É a mesma temperatura pros dois né. A temperatura externa tanto faz pra um ou pro outro. Se você comparar a massa do bloco que está na superfície lisa e a da superfície rugosa?

S: Ah tá, eu acho que vão ser as mesmas. No final vão ser as mesmas
P: No final vão ser as mesmas?
S: Eu acho que sim.
Item D
P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?
S: Eu acho que...eu acho que conservação de momento. O problema é se eles tiverem é...é eu acho que dá pra fazer por conservação de momento. O problema é essa superfície rugosa...que aí teria que ver a força de atrito, teria que ver é...a força resultante sobre o gelo...

<p>Questão 7: A figura abaixo é a de um relógio de pêndulo devidamente alinhado no eixo vertical. Explique seu funcionamento.</p> <div data-bbox="699 1122 871 1473" data-label="Image"> </div>
Resposta Genérica
S: (oral)
S: É pra explicar o ...tem um movimento pendular aqui ou...?
P: Tem um pêndulo né. Você sabe como funciona o pêndulo né? São dois pesos que tem aqui e aí um dos pesos é pra fazer o relógio, o cuco sair, de meia em meia hora, e o outro peso é pra fazer o relógio funcionar, girar...
S: Certo!
P: E aí, a pergunta é sobre o pêndulo...sobre o funcionamento...

S: Então é pra explicar o funcionamento do pêndulo?
P: É!
<p>S: É...bom vou explicar...aqui tem uma força peso, tem uma força de tração. Tá e aí ele é colocado aqui com uma energia potencial. Bom, aqui ele tem energia cinética mínima... (figura abaixo)</p>
(escrita)
<p>S: No ponto inicial o corpo tem uma energia potencial e cinética nula. Ao se deslocar, a energia potencial é transformada em energia cinética, de forma a ser máxima no ponto médio. No deslocamento para o ponto final a energia cinética é nula e a potencial é máxima e depois retorna ao ponto inicial com um período determinado.</p>
Resposta Implícita (solicitada)
Item A
<p>P: Como o relógio de pêndulo é capaz de manter o movimento? Em que situação deixa de funcionar?</p>
<p>S: Bom, inicialmente...é que, desconsiderando que não tenha esse atrito do ar, ou que ele seja desprezível, tem um corpo preso por uma linha ou qualquer coisa assim e aí é colocado ele de forma que ele tenha uma energia potencial e aí ele realiza este movimento pendular transformando energia potencial em cinética e vice-versa e aí em iguais períodos ele vai...ele oscila. Ele deixa de funcionar quando a força de atrito não é mais desprezível do ar e aí...</p>
Item B
<p>P: Indique em qual posição a velocidade do pêndulo é máxima.</p>
<p>S: A velocidade dele é máxima no ponto em que ele tá vertical, na posição vertical.</p>
<p>P: Perfeito!</p>
Item C
<p>P: Considere um ponto qualquer da trajetória do pêndulo. Faça dois desenhos idênticos situando o pêndulo numa posição qualquer. Num dos desenhos</p>

<p>indique as forças que atuantes durante o movimento descendente; noutro, indique as forças que atuantes durante o movimento ascendente.</p>
<p>S: Descendo: Então tem a força de tração...é, tem a força peso; subindo: então aqui...</p>
<p>Item D</p>
<p>P: Nos mesmos desenhos do item “b)” indique o vetor $\Delta S \rightarrow$.</p>
<p>Ver Item C</p>
<p>Item E</p>
<p>P: Existe uma tradução matemática para explicar o fenómeno?</p>
<p>S: A gente faz a equação de Newton né, $F = ma$. Na verdade a gente coloca numa equação diferencial com a força resultante. Essa força resultante, pelo que eu lembro ela depende de seno de θ né e aí esse seno de θ pra gente conseguir a fórmula mais clássica de período a gente aproxima esse seno de θ para um θ.</p>
<p>P: Beleza, perfeito!</p>

Questão 8: Explique a situação ilustrada na figura abaixo

Resposta Genérica

S: O menino joga a bola para cima e devido a atração da força gravitacional, a bola atinge a altura máxima com velocidade nula e começa a voltar.

Resposta Implícita (solicitada)

Item A

P: A partir de que instante, e porque, a esfera adquire movimento vertical ascendente?

S: Ah tá, quando o menino lança ela pra cima, é...enfim ele...atua nela uma força que faz com que ela suba.

Item B

P: O que se pode dizer acerca da velocidade e da altura da esfera durante todo o movimento?

S: ah, tá...bom ela vai subindo...é...até o momento em que ela adquire velocidade nula, quando ela chega nessa velocidade nula ela tá na altura máxima de forma que ela começa a descer novamente

P: Tá. E na hora que ela desce o que acontece com a altura e com a velocidade?

S: Ah, tá. Na hora que ela desce ela começa a ganhar velocidade e...enfim...a altura vai descendo

Item C

P: Existe alguma tradução matemática para o fenômeno?

S: Ah tá. É por lançamento ...bom nesse caso é puramente vertical. A gente vê

o quanto de força o menino aplica na bola e aí ela sobe ou desce devido a força gravitacional.
P: Se você quiser usar Torricelli, você pode aí?
S: Torricelli é..sim!!
P: Beleza, você pode escrever Torricelli aí, por favor?
S: Eu acho que é isso viu! Não lembro mais $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$
P: Tá, agora a gente vai escolher dois pontos.
S: Tá.
P: Um ponto aqui...você pode fazer uma reta vertical aqui? Então, dois pontos intermediários. A história da bolinha...
S: Tá, então, por exemplo ela tá aqui e a outra tá aqui.
P: Isso, perfeito! O que eu quero que a gente faça. Que chame um de P, Q ou ponto A e B, tanto faz. Ah, tem v zero aqui né? (na formulinha)
S: É v zero mais 2 vezes...
P: É, v zero mais dois a...
S: Ah, isso eu não lembrava!
P: Beleza! No lugar do S e do a eu peço que você troque por y no lugar do S...H...H é melhor e no lugar do a coloca g...
S: $v^2 = v_0^2 + 2g\Delta h$

P: Beleza, perfeito! O que é que a gente vai fazer agora. Eu quero que... a gente vai comparar esses dois aqui. Onde tá v , você vai colocar índice b e onde está v zero você vai colocar a .
S: Tá, mas, o que que eu tenho desse problema? Eu tenho altura, por exemplo?
P: Tem, você tem altura. Eu quero só chegar no final pra...
S: Então, peraí...então primeiro é a velocidade a ...
$v_b^2 = v_a^2 + 2g(h_b - h_a)$
P: Eu vou pedir pra você, por favor, aplicar a propriedade distributiva aqui (aponta para os parênteses).
S:
$v_b^2 = v_a^2 + 2gh_b + 2gh_a$
P: Legal! Aqui fica menos né...porque tá subindo e aqui fica mais..
S: Péra, vai ficar... Isso daqui é um valor absoluto?
P: É...é um valor absoluto...admitindo que a aceleração está pra baixo, mas deixa pra baixo...
S: Ah tá, entendi. Eu colocaria no g menos 10.
P: Sim e aqui fica mais! Agora, o que vou pedir pra você fazer o favor, juntar num mesmo membro todos os valores associados à b e no outro, todos associados a a .
S: ...
P: Essa equação final, ela pode te explicar o movimento da bolinha subindo?
S: ...
P: Esta daqui pode? (aponta para Torricelli)
S: Peraí... aqui se elas são iguais. A gente sabe que h_a é menor do que h_b ?
P: Sim.
S: Tá. Não, aqui a gente não consegue saber.
P: Essa expressão, a de baixo, essa formulinha ela te diz alguma coisa?
S: Ela diz que a velocidade em b ...peraí...se h_a ... se isso aqui é uma igualdade e h_a é menor, então de alguma maneira isso daqui tem que ser maior, então o que eu consigo dizer é que a velocidade em a , essa velocidade aqui é maior do que a velocidade em b .
P: E se você dividir tudo por 2?
S: por 2?
P: É!
S: (dividindo por dois)...o que que tem?

$$\frac{v_B^2}{2} + \cancel{\frac{2gh_B}{2}} = \frac{v_A^2}{2} + \cancel{\frac{2gh_A}{2}}$$

P: Agora, do jeito que tá essa expressão, do jeito que ela ficou, v quadrado sobre dois mais gh, ela te diz alguma coisa?

S: Péra...isso daqui tem cara de cinética e isso daqui tem cara de potencial... é...elas dizem que, enfim, tá conservando a energia...mas o que eu preciso responder?

P: Acabou, perfeito!!