

Israel Müller dos Santos

**UMA PROPOSTA DE USO DE MODELIZAÇÃO NO ENSINO DE
FÍSICA COM TURMAS DO PRIMEIRO ANO DO ENSINO
MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Curso de Graduação em
Física da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Paulo José Sena
dos Santos



Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Israel

UMA PROPOSTA DE USO DE MODELIZAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA
COM TURMAS DO PRIMEIRO ANO DO ENSINO MÉDIO / Israel Santos
; orientador, Paulo José Sena dos Santos - Florianópolis,
SC, 2014.

53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Físicas e Matemáticas. Graduação em Física.

Inclui referências

1. Física. 2. Ensino de Física. 3. Modelização. I. , Paulo
José Sena dos Santos. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Física. III. Título.

Israel Müller dos Santos

**UMA PROPOSTA DE USO DE MODELIZAÇÃO NO ENSINO DE
FÍSICA COM TURMAS DO PRIMEIRO ANO DO ENSINO
MÉDIO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Licenciado em Física, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Física.

Florianópolis, 14 de agosto de 2014.

Prof. Celso Yuji Matuo, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Paulo José Sena dos Santos, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Tatiana da Silva, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José Francisco Custódio Filho, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Este trabalho é dedicado aos meus pais
e aos meus professores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio dispensado quando da execução desse projeto e por toda a minha graduação. Ao meu pai, pelo exemplo de trabalhador e estudante, que conseguiu superar todos os desafios para poder proporcionar uma condição melhor para nós. À minha mãe, pela atenção, carinho e assistência – meu porto seguro. Ao meu irmão, pela camaradagem, e pelos puxões de orelha esporádicos – mesmo sendo o caçula.

Aos mestres que passaram pela minha formação acadêmica; todos, sem exceção, contribuíram para que hoje me sinta um profissional instrumentalizado a fazer pelos outros o que fizeram por mim: abrir os olhos para enxergar o mundo de acordo com a visão científica da Física. Acredito que me deixaram o legado mais precioso e mais bonito que poderia esperar receber ao concluir o curso. Em especial ao professor Paulo José Sena dos Santos, cuja contribuição foi imprescindível para a execução desse, a atenção despendida e aos valiosos conselhos. Ao professor José Francisco Custódio Filho e às professoras Tatiana da Silva e Sônia Maria Silva Corrêa de Souza Cruz, que aceitaram participar da banca examinadora, pelas sugestões e críticas que ajudaram na composição da versão final do trabalho.

Ao professor Reginaldo Manoel Teixeira, e a todos os membros do Colégio de Aplicação da UFSC envolvidos na execução do projeto, pela oportunidade de aplicar o trabalho nas turmas e pelo suporte e apoio conferidos à pesquisa. Em especial, pelas intervenções do professor, que muito contribuíram para a execução do projeto.

Aos colegas de curso, em especial aos mais próximos, com quem tive oportunidade de vivenciar as experiências da vida universitária e, mais importante, discutir, debater, testar minhas opiniões e pensamentos. Acredito que no embate de ideias é que se dá o verdadeiro aprendizado. Gostaria que todos pudessem compreender, ou pelo menos respeitar, essa visão. Entretanto, houve sempre aqueles com quem pude ter uma conversa sincera e produtiva, sem medo de opinar ou de ser contrariado. Obrigado por terem participado de minha formação como profissional e indivíduo.

Aos amigos, por terem compreendido minha ausência nos últimos tempos – foi por uma boa causa. Finalmente esse ciclo chegar ao fim, para o início do próximo. Os amigos mais verdadeiros estavam presentes no princípio dessa trajetória e com certeza permanecerão na continuação dela.



*“As únicas respostas interessantes são
aquelas que destroem as perguntas”.*

(Susan Sontag)

RESUMO

Neste trabalho defende-se o uso de modelização, a construção e apropriação de modelos físicos, com fins pedagógicos, no ensino médio. Uma sequência didática foi planejada baseada nos princípios da estratégia de modelização proposta por Hestenes, 1987. Através da proposição de uma questão central, “*Como as coisas caem?*”, objetivou-se criar com os alunos um modelo para compreender a queda dos corpos, tendo como objeto de modelização o plano inclinado. Essa abordagem permite trabalhar com os alunos, ao longo do processo, questões relacionadas ao papel do modelo na ciência, as habilidades e ferramentas para representação de fenômenos físicos e o limite de validade de modelos teóricos. A sequência foi aplicada em duas turmas de primeiro ano do ensino médio. Através do uso do programa *Modellus*, um aplicativo de modelagem matemática interativa, os resultados da formulação matemática do modelo foram explorados, para posteriormente serem comparados com os dados obtidos por meio de uma atividade experimental envolvendo o plano inclinado. Essas conclusões conferidas à queda no plano inclinado foram ramificadas para o entendimento da queda vertical, respondendo à pergunta inicial. Ao fim da aplicação da sequência foi realizada uma avaliação com os alunos, para verificar as principais ideias criadas a partir da modelização implementada. Com base na reflexão acerca da experiência adquirida com as aulas ministradas e numa análise qualitativa das respostas a uma das questões da avaliação, foi possível refletir a respeito das potencialidades e limitações da inclusão da modelização no ensino médio a partir de propostas como esta. Verificaram-se algumas concepções dos alunos em que os papéis da atividade experimental e da modelização computacional se confundem; bem como se detectou casos em que o modelo, que deveria ser entendido como uma representação, com potencial descritivo e preditivo, foi compreendido como o aparato por meio do qual foram realizados os experimentos. Além de lidar com algumas concepções equivocadas como estas, na discussão dos resultados discorre-se acerca das dificuldades em implementar esta proposta no atual contexto do ensino médio, haja vista a influência da “cultura escolar tradicional”, das competências e habilidades que podem ser desenvolvidas com os alunos por meio dessa abordagem e também do aumento da motivação dos alunos percebido com a implementação das atividades planejadas.

Palavras-chave: Modelização. Ensino de Física. Ensino Médio.



ABSTRACT

This work advocates the use of modeling, construction and appropriation of physical models for teaching purposes, in high school. A teaching sequence was designed based on the principles of modeling strategy proposed by Hestenes, 1987. By proposing a central question, "How do things fall?" , this sequence objectives to create with students a model to understand the falling bodies, having as object modeling the inclined plane. Throughout the process, this approach allows students to work with issues related to the role of the model in science, skills and tools for representation of physical phenomena and the limit of validity of theoretical models. This sequence was applied in two classes of the first year of high school. Through the use of Modellus program, an application for interactive mathematical modeling, explored the results of the mathematical formulation of the model; experimental data obtained with an activity involving the inclined plane were compared with this results. These findings conferred to fall on the inclined plane were branched to the understanding of vertical drop, answering the initial question. After applying the following evaluation with students, aiming to identify the main ideas created by students from the implemented modeling was applied. Based on reflection on the experience gained with the classes and a qualitative analysis of the responses about one of the constituent issues of the evaluation, it was possible to ponder the potential and limitations of the inclusion of modeling in high school, from proposals like this. It was possible to verify some student's conceptions in which the roles of experimental activity and computational modeling are confused; and if found cases in which the model, which should be understood as a representation, with its descriptive and predictive potential, was understood by some students as apparatus through which the experiments were conducted. Besides dealing with some misconceptions such as these, in the discussion of the results also talks-about the difficulties in implementing this proposal in the current context of high school, due to the influence of "traditional school culture", but the skills and abilities that can be developed with students through this approach and also by increasing the motivation of students perceived with the implementation of planned activities.

Keywords: Modelling. Physics Teaching. Secondary school.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação das Forças no Plano Inclinado	64
Figura 2 – Janela Modelo Matemático do software Modellus: Implementação do Modelo	67
Figura 3 – Previsão do modelo para a posição, velocidade e aceleração . Valor máximo do tempo: 10 segundos.	68
Figura 4 – Previsão do modelo para a posição. Valor máximo do tempo: 100 segundos.	68
Figura 5 – Previsão do modelo para a velocidade. Valor máximo do tempo: 100 segundos.	70
Figura 6 – Previsão do modelo para a aceleração. Valor máximo do tempo: 100 segundos.	71
Figura 7 – Previsão do modelo para a posição. Valor máximo do tempo: 1000 segundos.	72
Figura 8 – Previsão do modelo para a velocidade. Valor máximo do tempo: 1000 segundos.	73
Figura 9 – Previsão do modelo para a aceleração. Valor máximo do tempo: 1000 segundos.	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1 Modelos e Modelização	30
2.1.2 Modelos e o Conhecimento Científico	32
2.1.3 Etapas de Modelização	33
2.1.3.1 Descrição	33
2.1.3.2 Formulação	33
2.1.3.3 Ramificação	34
2.1.3.4 Validação	34
2.2 Atividades Computacionais e Atividades Experimentais	34
3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA	37
3.1 Primeira Etapa – Questionamentos e Primeiras Hipóteses	38
3.2 Segunda Etapa – Testando a Queda	39
3.3 Terceira Etapa – Propondo um Experimento Alternativo: o Plano Inclinado	40
3.4 Quarta Etapa – Novas Hipóteses e Construção do Modelo	41
3.5 Quinta Etapa – Descrição do Modelo	41

3.6 Sexta Etapa – Formulação do Modelo	42
3.7 Sétima Etapa – Ramificação do Modelo	43
3.8 Oitava Etapa – Validação do Modelo	44
3.9 Nona Etapa – Discussões Finais, Explicação da Avaliação e Aplicação do Conhecimento	45
4 DESCRIÇÃO DAS AULAS	47
4.1 Introdução	48
4.2 Primeira Semana	50
4.3 Segunda Semana	55
4.4 Terceira Semana	58
4.5 Quarta Semana	62
4.6 Quinta Semana	65
4.7 Sexta Semana	76
4.8 Sétima Semana	78
4.9 Oitava Semana	79
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	81
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	99
ANEXO I	102
ANEXO II	104

INTRODUÇÃO

Apesar de se aceitar que tem sido a via de entrada para a carreira dos profissionais pertencentes ao domínio da Física e, nesse sentido, também contribuído para a formação de excelente pessoal, há de se reconhecer que a abordagem tradicional no ensino dessa ciência, em especial no ensino básico, tem apresentado muitas limitações. Embora o entendimento dos objetivos principais do ensino de Física depender de escolhas que surgem ao se responder à questão “para que ensinar Física?”, atualmente é praticamente consenso que a perspectiva tradicional com que a Física tem sido trabalhada nas escolas não contempla a maior parte desses objetivos. Os PCN, Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2000), por exemplo, publicados pelo governo, visam a formação de um cidadão atuante na sociedade, que possa compreender e intervir em sua realidade. Partindo desse princípio, o ensino das Ciências participa dessa formação através do desenvolvimento de competências e habilidades com os alunos, em oposição ao enfoque em conteúdos presente na abordagem tradicional. De acordo com essa proposta, diversas novas abordagens e perspectivas têm sido pensadas para o ensino de Física nos últimos anos. O presente trabalho objetiva explorar uma dessas propostas: o uso de modelização no ensino médio – nesse caso, com turmas de primeiro ano.

Entendidas as competências a serem trabalhadas com os alunos como algo capaz de auxiliá-los em sua compreensão e intervenção no meio, essas habilidades, no caso da Física, são próprias do contexto desta ciência; ou seja, a Física tem a contribuir na formação desses indivíduos com certas especificidades características da maneira com a qual a mesma “compreende e interage” com a realidade. Nesse processo, tem papel fundamental a construção de representações da natureza, os modelos físicos. Os físicos, em seu trabalho, tornam-se capazes de extrair o que é essencial à análise dos fenômenos aos quais voltam sua atenção e, a partir de diversas metodologias de descrição e representação dessas características principais, constroem um substituto para o fenômeno, algo compreensível e tratável à luz da formulação matemática de leis e princípios fundamentais. O conjunto de práticas e técnicas envolvidas na construção e apropriação destes modelos constituiu a modelização, ou modelagem. Partindo da premissa de que esses dois contextos devem estar interrelacionados, as competências a serem desenvolvidas pelos alunos e as apresentadas pelos cientistas em seu trabalho, defende-se neste trabalho a utilização da modelização em sala de aula, com fins didáticos. Segundo (VEIT e TEODORO, 2002)

dentre as competências destacadas pelos PCN, a serem desenvolvidas na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, existem diversas que seriam diretamente beneficiadas pelo uso da modelização no processo de ensino/aprendizagem, a saber:

- Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos;
- Utilizar e compreender tabelas, gráficos e relações matemáticas gráficas para a expressão do saber físico;
- Ser capaz de discriminar e traduzir as linguagens matemática e discursiva entre si. Expressar-se corretamente utilizando a linguagem física adequada e elementos de sua representação simbólica. Apresentar de forma clara e objetiva o conhecimento apreendido, através de tal linguagem;
- Elaborar sínteses ou esquemas estruturados dos temas físicos trabalhados;
- Desenvolver a capacidade de investigação física. Classificar, organizar, sistematizar. Identificar regularidades. Observar, estimar ordens de grandeza, compreender o conceito de medir, fazer hipóteses, testar;
- Conhecer e utilizar conceitos físicos. Relacionar grandezas, quantificar, identificar parâmetros relevantes. Compreender e utilizar leis e teorias físicas;
- Construir e investigar situações-problema, identificar a situação física, utilizar modelos físicos, generalizar de uma a outra situação, prever, avaliar, analisar previsões.

Todas essas competências podem ser resumidas à compreensão física que se quer que os estudantes desenvolvam, que ainda pode ser entendida como a construção de um conjunto complexo de habilidades cognitivas para a criação e uso de modelos. Além de estar em consonância com a perspectiva contemporânea de ensino de Física dos PCN, a divergência da abordagem de modelização com a tradicional se faz evidente em mais aspectos. Pressupõe a participação ativa dos alunos na construção do conhecimento, já que estarão constantemente desenvolvendo modelos para a compreensão dos fenômenos e colocando-os à prova, detectando inconsistências e alternando entre várias formas de representação possível. Também a construção de modelos atribui significado aos princípios teóricos tradicionalmente trabalhados, facilitando seu aprendizado ao promover situações em que

há sentido sua utilização – há uma contextualização. Além disso, também é compreensível priorizar os modelos científicos frente às teorias no ensino de física. Nessa perspectiva, princípios teóricos são validados apenas com sua implementação em modelos – estes sim são testáveis. Uma teoria será dita tanto mais coerente e completa, quanto melhor for a sua interação com a natureza, que só se faz possível através dos modelos científicos. Assim, existem ainda razões epistemológicas que justificam o enfoque em modelização (HEIDEMANN, ARAÚJO e VEIT, 2012).

Com a proposta de explorar as potencialidades e verificar as possíveis limitações do uso da modelização no ensino médio, foi planejada e aplicada uma sequência didática em duas turmas do primeiro ano. As aulas foram pensadas tendo como principal embasamento teórico o trabalho de David Hestenes (1987) que propõe os princípios com que os modelos podem ser compreendidos no contexto científico e pedagógico, propondo uma estratégia de modelização no ensino de Física. Essa sequência constituiu-se de nove etapas, descritas com relação as metodologias serem empregadas e os momentos previstos, que foram planejadas visando aproveitar-se da complementação de atividades computacionais e experimentais. Essas aulas foram estruturadas tendo como objeto de estudo um sistema tradicionalmente abordado no ensino médio, o plano inclinado, mas que assume aqui um novo papel: um modelo a ser construído com os alunos para representar o fenômeno da queda dos corpos.

Após contemplar o planejamento da sequência, há a descrição das aulas, de sua aplicação, em que discorre-se sobre como se sucedeu a execução dos momentos previstos e quais as alterações necessárias para o desenvolvimento do trabalho. Na seção seguinte, há a discussão dos resultados obtidos, em que há a reflexão acerca das experiências obtidas nas aulas, aliada à análise das respostas dos alunos a um instrumento de avaliação aplicado nas turmas. Longe de se dedicar a uma questão central de pesquisa, esse instrumento foi planejado para verificar as principais impressões dos alunos com relação a essa nova abordagem, ressaltando as principais concepções construídas acerca da modelização realizada e apontado pontos a serem melhor explorados em futuras aplicações dessa sequência. Por fim, fazem-se considerações a respeito do trabalho realizado, à guisa de conclusão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico adotado neste trabalho consiste numa literatura focada na aplicação de modelos e modelização para o ensino de Física (HESTENES, 1987). É bem verdade que outros autores já se dedicaram ao tema, abordando-os com perspectivas diferentes, dependendo da intenção de suas pesquisas. Assim, existem termos, definições, conceitos, entre outros, que podem ser comuns a bibliografia principal utilizada nesse trabalho, bem como podem ser apenas parcialmente semelhantes (tanto em nomenclatura, como em significado), ou mesmo bastante distintos. A intenção específica de cada autor delinea o papel do modelo e do processo de modelização no contexto da ciência, de modo geral, e de seu ensino, de acordo com a teoria por si proposta. Entretanto, muitos elementos conceituais constituintes da teoria na literatura aqui adotada terão correspondentes em outros trabalhos, mas possivelmente com nomenclatura diferente.

A escolha desse referencial em especial se deu porque o objetivo do autor é posto de maneira muito clara desde o princípio de seu trabalho, o que se traduz em vários conceitos e definições que se relacionam entre si de forma bastante simples mas ao mesmo com grande poder representativo e explicativo – permitindo uma transposição bastante objetiva e direta na elaboração da sequência didática. Sua intenção é formular princípios que possibilitem analisar criticamente a prática atual e guiar a pesquisa pedagógica na área. Nesse processo, propõe uma estratégia de ensino centrada em modelos e modelização; com isso, fornece de maneira clara subsídios para o planejamento e aplicação de sequências didáticas (objetivo desse trabalho). Essa “clareza”, ou “simplicidade” de apresentação da estratégia se dá pela intenção do autor de responder a duas perguntas: “O que é essencial do conteúdo a ser ensinado?” e “Como ensinar isso efetivamente?”. Ao longo da sistematização de sua proposta, sugere uma resposta a essas perguntas (em linhas gerais): Modelos e Modelização (HESTENES, 1987).

O problema que motiva o autor é bastante perceptível ainda atualmente: a falta de êxito dos professores no ensino de física introdutória. Geralmente, a responsabilidade recai sobre os conhecimentos prévios dos alunos de matemática e ciências, mas é sugerido no trabalho que existem deficiências no próprio ensino tradicional da física. Aparentemente, os professores pautam sua prática somente em algumas crenças sem base teórica, tendendo a descartar a teoria pedagógica. Além disso, a prática científica dos físicos se

distancia muito da realizada em sala de aula. Enquanto no primeiro contexto tentam entender o fenômeno, formulando hipóteses racionalizadas, no segundo lhes bastam apenas suas concepções prévias com relação ao ensino. O que, a princípio, é colocado como um problema de nível universitário, pode ser estendido à realidade do ensino médio, de certa maneira. A questão não é se os alunos aprendem – percebe-se que, apesar da baixa performance nas avaliações, com tempo e esforço eles conseguem aprender –, mas sim se o ensino de Física poderia ser melhor projetado a fim de que aprendam de maneira mais eficiente. A ideia de trabalhar com essa questão de maneira explícita também se mostrou muito interessante, constituindo como mais um fator para a escolha desse referencial.

2.1 Modelos e Modelização

Para aplicar alguns princípios e técnicas de modelização para fins pedagógicos, faz-se necessária uma explanação acerca dos termos utilizados, das definições empregadas – nesse caso, tratar do papel dos modelos e da modelização de maneira geral na ciência. Nesse contexto, essa teoria de modelização aplicada ao ensino prevê que as bases do conhecimento devem ser ensinadas de maneira explícita para os alunos – e não tomadas como entendidas previamente.

Modelo é um substituto para um objeto de estudo, uma representação conceitual de algum fenômeno. Em física são utilizados modelos matemáticos: variáveis representam propriedades físicas e são estabelecidas relações quantitativas entre elas. Essas relações podem permitir, quanto a esse fenômeno: descrever, prever, explicar, etc. A modelização, ou modelagem, constitui-se no processo de construção e/ou apropriação de modelos na ciência e, de acordo com a teoria de ensino adotada, no ensino de ciências também.

Modelos são limitados em sua natureza, ou seja, inerentemente são uma representação parcial da realidade. Na modelização são realizadas escolhas, simplificações, aproximações e idealizações imprescindíveis ao processo, que impedem a abordagem de todos os aspectos de um fenômeno; seria impossível evidenciar todas as características presentes e estabelecer relações entre elas. Isso se deve às dificuldades operacionais instrumentais e matemáticas advindas dessa tarefa, o que também não se constituiu um prejuízo a modelização. Quem define o grau de precisão requerido para o modelo e, consequentemente, o potencial descritivo, preditivo e heurístico desejado, é o sujeito realizador da modelização – fica a seu cargo

decidir até que ponto a representação deve reproduzir o que é observado na natureza, embora tenha consciência de que esta nunca será uma representação “perfeita”.

São componentes de um modelo (HESTENES, 1987):

(1) Nomes para o objeto e todos os agentes que interagem com este, bem como qualquer parte do objeto representado. Vale salientar que podem apenas alguns aspectos do fenômeno serem considerados objeto de estudo, por uma série de fatores dependentes do processo de modelização. Nesse trabalho, o termo “recorte” refere-se a essa escolha de quais aspectos do fenômeno serão estudados, e por consequência, nomeados.

(2) Variáveis descritivas, ou descritores, que representam as propriedades do objeto. Existem três tipos de descritores:

- “Variáveis-objeto”, que representam propriedades intrínsecas do objeto. Para um objeto em particular, assumem valores fixos. Exemplo: a massa de um corpo para um modelo que estude seu movimento de queda.

- “Variáveis-estado”, que representam propriedades intrínsecas que variam de acordo com o desenvolvimento do estado do sistema – por exemplo, podem variar com o tempo. A depender do modelo, variáveis-objeto podem se tornar variáveis-estado, e vice-versa. Exemplo: a massa de um foguete num modelo que estude seu movimento de ascensão na atmosfera.

- “Variáveis-interação”, que representam a interação de algum objeto externo (chamado agente) com o objeto-modelo. Exemplo: a força gravitacional exercida pela Terra num corpo para um modelo que estude seu movimento de queda.

(3) Equações do modelo, que descrevem sua estrutura e relacionam quantitativamente as variáveis entre si – a evolução de cada uma no tempo, por exemplo. Representações alternativas para o mesmo objeto podem se utilizar de diferentes grupos de equações. Exemplo: formalismo de Schroedinger e de Dirac para o modelo dos estados do elétron em diferentes sistemas quânticos.

(4) Interpretações relacionando as variáveis descritivas a propriedades do objeto que o modelo representa. Essas interpretações podem ser entendidas como o elemento com que os modelos são usados

pelos cientistas para a compreensão dos fenômenos. Por isso, do ponto de vista pedagógico, trata-se do componente mais “frágil” do modelo abordado em sala de aula (HESTENES, 1987). As interpretações são geralmente fornecidas pelo professor, de maneira automática, muitas vezes tomando como garantido seu entendimento por parte dos alunos – entretanto, pode confundi-los ainda mais. Os estudantes devem entender a interpretação física como componente crítico do modelo, caso contrário, ele aparentará ser um conjunto de relações matemáticas abstratas.

2.1.2 Modelos e o Conhecimento Científico

A estrutura do conhecimento científico abrange duas naturezas: factual e processual (HESTENES, 1987). O conhecimento factual consiste em leis, princípios e dados empíricos interpretados através dos modelos e de acordo com uma determinada teoria. As teorias físicas podem variar em grau de aplicabilidade e corroboração, mas suas leis são mais factuais que hipotéticas, a medida que foram testadas e validadas cientificamente. É geralmente apresentado em livros texto de ciências em um padrão bastante explícito e ordenado, seguindo uma certa “lógica consagrada”, mas com frequentes lacunas, suposições ocultas, e algumas vezes de modo casual.

O conhecimento processual consiste nas estratégias, técnicas e práticas utilizadas para criação, desenvolvimento, validação e utilização do conhecimento factual. Esse sistema, por vezes vago, comumente é chamado “método científico”, embora hoje o entendimento seja de que, apesar de haver sistematização no tratamento desse conhecimento, ela não segue regras rígidas, ou mesmo um método único e infalível. O tratamento nos livros didáticos é, em geral, quase totalmente inadequado, consistindo em pouco mais que banalidades a respeito do “poder do método científico” e notas a respeito da resolução de problemas. Por essa deficiência, estudantes tendem a aprender o conhecimento processual através da resolução exaustiva de problemas e da observação (e até mimetização) das práticas do professor.

Assim, percebe-se que o modelo exerce papel central neste tipo de visão de ciência: ele tanto é um componente que precede a teoria, ou seja, estruturante do conhecimento factual, quanto a maneira pela qual os cientistas fazem essa teoria “interagir” com a natureza – a modelização, conhecimento processual. Portanto, é objetivado, com o ensino de Física, que os alunos sejam capazes de adquirir alguma “compreensão física” do mundo que os cercam, que pode ser entendida

como um conjunto de habilidades de modelização a ser aprendido – habilidades cognitivas para criação e uso de modelos (VEIT e TEODORO, 2002).

2.1.3 Etapas de Modelização

O processo de modelização pode ser estruturado em quatro etapas – que devem ser apresentadas de maneira explícita para os alunos (HESTENES, 1987). Consistem numa estratégia para organização do processo cognitivo de aplicação dos princípios que estruturam uma teoria física para a construção de um modelo. Os nomes dos estágios são: Descrição, Formulação, Ramificação e Validação. Serão definidos nesse texto, embora no processo de modelização não haja, a princípio, um momento exato em que se perceba o fim de uma etapa e início da outra. A passagem entre elas é bastante dinâmica: ao formular uma parte do modelo, pode-se querer descrevê-lo novamente em alguns aspectos, por exemplo. Assim, não são plenamente abandonadas no processo, podem ser retomadas posteriormente.

2.1.3.1 Descrição

Nesse estágio, as características do sistema passarão a ser tratadas como variáveis, dentro das três categorias propostas. Daí provêm os nomes e variáveis descritivas do modelo, assim como suas definições e interpretações. É dependente de decisões referentes ao tipo de modelo a ser desenvolvido, o recorte – por exemplo, um modelo dinâmico (causal) para um movimento descreveria características (forças) ignoradas num modelo cinemático. O grau de detalhamento requerido pode influenciar em seu resultado final; a isto estão atreladas as simplificações e idealizações realizadas – aproximar um objeto por uma partícula ou corpo extenso, por exemplo. O impacto dessas escolhas nos resultados do modelo (como previsões de variáveis de estado) pode ser melhor avaliado na última etapa, pois estará ligado ao seu grau de validade. Várias ferramentas podem ser usadas para a descrição de um fenômeno, como tabelas, diagramas e gráficos.

2.1.3.2 Formulação

Nessa etapa, serão utilizadas leis físicas (advindas da teoria mais conveniente) para relacionar quantitativamente as variáveis entre si. Leis de interação, bem como equações de conservação, podem ser

usadas para determinar equações de movimento – que estabelecem a evolução de variáveis de estado com o tempo, por exemplo. O resultado dessa etapa deve ser uma equação (ou grupo de equações) que permita estabelecer relações matemáticas descritivas e/ou preditivas entre as variáveis. Vale ressaltar, novamente, que há papel importante das escolhas realizadas durante o processo: pode-se recorrer a diferentes formalismos teóricos para relacionar as mesmas variáveis, mas de maneira diferente, explorando as possibilidades de cada teoria (mecânica newtoniana ou lagrangiana, por exemplo).

2.1.3.3 Ramificação

No estágio de Ramificação do modelo, propriedades especiais e implicações são trabalhadas. Num caso com equações de movimento, por exemplo, estas são resolvidas para determinar trajetórias sob diferentes condições iniciais; os resultados podem ser representados analítica e graficamente. Uma ramificação desse modelo poderia descrever a evolução de alguma variável descritiva com o tempo, como a energia do sistema.

2.1.3.4 Validação

O último estágio está relacionado à avaliação empírica do modelo ramificado. Na pesquisa científica pode envolver testes de laboratório com intuito de corroborar os resultados previstos; avalia-se seu grau de precisão e limite de validade, interpretando essas características à luz das simplificações realizadas ao longo do processo de modelização. Assim, reflete-se a respeito de qual aspecto poderia ser alterado de modo a criar um modelo mais preciso ou aplicável numa situação diferente. Do ponto de vista escolar, a validação pode vir do trabalho experimental com fins pedagógicos ou da análise da razoabilidade dos resultados numéricos de problemas didáticos.

2.2 Atividades Computacionais e Atividades Experimentais

À medida que se deu o desenvolvimento do uso de simulações computacionais no trabalho científico, uma nova mediação entre teoria e realidade estabeleceu-se. A relação entre experiência e teoria, estruturada através dos modelos científicos, passou a ser criada através de novas representações com grande potencial descritivo e preditivo. Hoje, trata-se de um instrumento de pesquisa tão importante quanto o

laboratório, mas com objetivos e metodologias diferentes. Os experimentos de laboratório podem ter mais de uma função dentro do contexto científico – por exemplo, ora são exploratórios, investigando um fenômeno ainda não muito conhecido, ora são comprobatórios, testando as previsões teóricas e seu grau de validade. Independentemente do papel específico de um determinado experimento para a construção de uma teoria, a característica principal deste é que o cientista está estudando o fenômeno em si; através do ajuste de alguns parâmetros, pode observar as alterações e evolução desse fenômeno na natureza. Essa é uma diferença essencial entre uma atividade experimental e uma simulação computacional. No segundo caso, o pesquisador lida com a implementação num computador de um modelo previamente construído, que realiza cálculos numéricos e representa os resultados do modelo de diferentes maneiras (diagramas, mapas, gráficos, animações, etc.) O poder descritivo e preditivo da simulação está limitado ao processo de modelização realizado; o papel da implementação no computador é explorar o potencial da representação construída, mas sem confundir-la com o objeto de estudo, que é um fenômeno físico. Uma simulação não pode ser usada para validação final de um modelo na mesma medida que uma experiência, já que envolve um “recorte” da realidade - como dito anteriormente, o modelo está restrito a uma representação parcial da natureza, que traz consigo simplificações e idealizações -, logo, não necessariamente reproduz o observado na natureza. Contudo, trata-se de uma ferramenta poderosa de articulação entre a teoria e a experiência.

Tem-se buscado recentemente explorar o uso equilibrado de atividades experimentais e atividades computacionais – simulações computacionais e uso de softwares de implementação de modelos computacionais (HEIDEMANN, ARAÚJO e VEIT, 2012; JAAKKOLA, 2008; ZACHARIA, 2007; JAAKKOLA e NURMI, 2011) – como recursos didáticos complementares no ensino de física. Como tratado anteriormente, pode-se entender a inserção dessas atividades como uma abordagem do conhecimento processual no contexto da sala de aula – visa-se ensinar aos alunos o “fazer ciência” lançando-se mão de meios que geralmente os cientistas utilizam em seu trabalho. Sob o referencial da modelização, ambas permitem a abordagem de diferentes aspectos da construção de modelos, já que possuem diferentes objetivos. As atividades experimentais permitem ao aluno estar em “contato direto” com o fenômeno, o que lhes fornece subsídios tanto para uma melhor descrição do modelo, já que permite ponderar acerca de quais

características são relevantes, quanto para sua validação, quando comparam resultados de um experimento com os previstos pelo modelo.

Já as atividades computacionais servem a outros objetivos, que complementam os das experimentais. Com elas, muitos resultados da formulação matemática e possíveis ramificações são representadas de maneiras diferentes, ilustrando para os alunos como se apresenta o fenômeno segundo o comportamento previsto pelo modelo. A depender dos objetivos específicos do momento no seguimento das aulas, pode ser explorada uma representação diferente (animações, gráficos, etc.). Além disso, a atividade computacional permite “aproximar” o estudante de fenômenos em que o estudo através de experimentos torna-se inviável, seja pelo custo envolvido, seja pelo risco à sua integridade. É interessante também porque permite ao aluno um estudo exploratório mais independente, em que, à partir do conhecimento básico de uso do software, ele mesmo pode variar os parâmetros de uma simulação, por exemplo, realizar suas observações e tirar suas próprias conclusões. Contudo, o professor, ao elaborar uma aula em que será usada atividade computacional, deve manter bem evidente o fato de que é impossível “provar” leis físicas através de simulações. As leis são relações entre variáveis descritivas que representam propriedades de objetos reais, da natureza; logo, só podem ser corroboradas através do estudo envolvendo esses objetos, através da experimentação – não representações “imperfeitas” criadas dos mesmos. A simulação apenas reproduzirá os resultados do modelo, nunca irá de encontro a alguma lei se ela foi suposta verdadeira na construção do mesmo. Em resumo, uma metodologia que envolva combinação de atividades computacionais e experimentais pode ser muito eficiente no tratamento da modelização em sala de aula.

3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Como parte integrante deste trabalho, foi planejada uma sequência didática a ser aplicada em turmas de primeiro ano do ensino médio. Os conteúdos referentes tratam da dinâmica de queda dos corpos, tanto a queda vertical quanto num plano inclinado. Contudo, diferentemente da abordagem tradicional, o conhecimento (factual e processual) a ser ensinado não se estruturará através de uma teoria geral, mas de um modelo para o fenômeno em questão, a ser construído em sala com participação dos alunos. Isso não significa que não haverá momentos em que é prevista exposição do conteúdo pelo professor, como na maneira tradicional, nem que a teoria (no caso, as leis de Newton) não será considerada certas vezes pré-requisito para o seguimento de algumas etapas do processo de modelização. Procura-se ao máximo estar em concordância com os princípios fundamentais do referencial adotado neste trabalho, mas essa nova alternativa de abordagem precisa se basear em estratégias já existentes em alguns aspectos (não se objetiva uma cisão radical com o tradicional, mas testar algumas novas abordagens e identificar novas perspectivas).

A escolha desse tema para a sequência se deu por mais de um motivo. Em primeiro lugar, não era intenção trazer algum tema novo ao cronograma da disciplina de física da escola; por isso a restrição ao currículo tradicional do primeiro ano: a mecânica newtoniana, em linhas gerais. O professor titular das turmas na escola em que as aulas seriam ministradas expressou o desejo de inverter, pela primeira vez, a ordem dos conteúdos até então estabelecida: primeiro a cinemática e depois a dinâmica – uma proposta que pareceu muito interessante. Assim, o conjunto de temas ficou ainda mais restrito, apenas conteúdos que remetessem a dinâmica. E mais, deveria-se estar atento à matéria anteriormente vista pelas turmas, para que nenhum momento da sequência requeresse algum conhecimento não aprendido pelos alunos (nesse caso, já haviam estudado apenas ordens de grandeza, classificação de grandezas físicas e vetores). Construir um modelo para a queda dos corpos, através do plano inclinado, mostrou-se uma alternativa interessante: permite a introdução de vários conceitos, o uso das leis de Newton de uma forma não muito complexa e possibilita explorar algumas questões relacionadas ao processo de modelização, como as simplificações e aproximações realizadas (desprezar a resistência do ar, por exemplo). Já existem pesquisas ponderando a transposição de uma abordagem tradicional para o enfoque de modelização, para os conteúdos relacionados à mecânica (BREWE,

2008). Estudar o movimento de queda através do plano inclinado, levando em consideração a realidade da maior parte das salas de aula (inclusive desta), é uma alternativa mais praticável, pelo aparato experimental necessário ser de mais fácil acesso – além de haver o atrativo do ponto de vista histórico de que, supostamente, foi com esse sistema, entre outros, que Galileu desenvolveu seus estudos relacionados à queda dos corpos, embora esse fato não seja explorado na sequência (SEGRE, 2008).

Ao término da sequência está prevista a aplicação de uma avaliação. Neste trabalho ela foi realizada e os resultados foram analisados. Assim, serviu tanto ao propósito de avaliação do aproveitamento dos alunos quanto como avaliação deste trabalho, da própria sequência empregada. Como se trata de um estudo exploratório, sem o objetivo de investigar questões específicas, ela não possui questões ligadas a problemas de pesquisa previamente estabelecidos, mas poderá indicar várias questões a serem investigadas em posteriores aplicações. Mesmo que surjam essas questões e que outros instrumentos de investigação sejam utilizados, a avaliação prevista é parte da sequência, já que as questões propostas parecem ser a maneira mais coerente de avaliar o aprendizado dos alunos. Estas questões basicamente são guias para uma produção textual dos alunos em que procurarão explicitar o que aprenderam com relação à modelização e ao fenômeno estudado (ANEXO I).

3.1 Primeira Etapa – Questionamentos e Primeiras Hipóteses

O professor inicia a aula propondo um questionamento aos alunos acerca do movimento de queda dos corpos. A pergunta pode ser “Como as coisas caem?”. Os alunos podem inicialmente se ater a respostas curtas, como “para baixo”, ou um pouco mais elaboradas, já incluindo o elemento gravidade – muitas vezes é de conhecimento dos alunos, embora não saibam realmente o que significa. É importante registrar a pergunta e as respostas; a lousa é um dos meios. As respostas à pergunta inicial fornecerão subsídios para a formulação de novas perguntas. O professor questiona os alunos, por exemplo, se “corpos com massa diferentes demoram o mesmo tempo para cair?” e/ou “o formato dos corpos influencia na maneira como caem?”. As respostas a essas perguntas já podem conter elementos de relação entre causa e consequência para o movimento descrito pelos alunos (como atrito, resistência do ar ou força gravitacional). Esses elementos também devem ser registrados. O professor já pode começar a tornar mais claros

para os alunos os significados de cada, mas as etapas de Descrição e Formulação do Modelo são as responsáveis por formalizar esses conceitos. Já pode aparecer, por parte dos alunos, um certo uso indiscriminado dos termos peso e massa como sinônimos. Apesar de poder informar previamente aos alunos que têm significados diferentes na Física, por enquanto isso não será tão problemático – novamente, as fases de Descrição e de Formulação devem cumprir o papel de evidenciar as diferenças entre os conceitos. Ao final dessa etapa, o professor deve ter conduzido a discussão a ponto de ter a resposta dos alunos a respeito da queda de corpos de massa diferentes. A experiência mostra que o mais provável é que respondam que o mais “pesado” cai mais rápido. Essa é a hipótese inicial a ser testada e avaliada.

3.2 Segunda Etapa – Testando a Queda

Nessa etapa, o professor questiona os alunos acerca de como verificar se a hipótese inicial é verdadeira. A primeira sugestão de teste seria a queda de dois corpos com massas diferentes e a percepção visual do tempo que demoram para cair da mesma altura. A princípio, sem um cronômetro, os alunos vão verificar que o tempo é quase o mesmo. Eles podem requisitar um cronômetro, ou sugerir outros meios para a medição do tempo (aplicativos de celular podem fazer o mesmo). O professor fornecerá o cronômetro e os alunos executarão o experimento. É esperado que percebam que a queda de alturas cuja dimensão é próxima à da sala de aula demora tempo consideravelmente pequeno e são rápidas o suficiente para que uma medida realizada por um experimentador humano seja muito imprecisa (o tempo de reação do operador do cronômetro é da mesma ordem de grandeza do intervalo de tempo da queda). Essa é a conclusão a que se chega comparando a queda de corpos de massa diferente em que a resistência do ar não influencia muito no movimento. Se os alunos tiverem a ideia de experimentar testar a queda de objetos cujo formato torna a resistência do ar considerável, então temos uma conclusão a mais – um elemento a mais para a discussão. O importante dessa etapa é que a classe consiga perceber que o simples teste de queda livre a uma altura disponível dentro da sala de aula não é suficiente para esboçar uma conclusão acerca da comparação de tempo de queda dos objetos; em outras palavras, esse experimento não contribui para a validação das hipóteses.

3.3 Terceira Etapa – Propondo um Experimento Alternativo: o Plano Inclinado

Agora, a partir das verificações da última etapa, chegamos a conclusão de que um novo experimento deve ser proposto e realizado. Vale lembrar que as conclusões mencionadas aqui devem, tanto quanto possível, ser alcançadas pelos próprios alunos; o papel do professor é guiar a discussão, propondo perguntas cujas repostas podem ajudar os alunos na construção de sua argumentação, incitando a reflexão acerca de algumas questões cruciais e, de maneira sutil, indicando pontos importantes a serem identificados em cada observação ou indagação. Lança-se a pergunta “que outro experimento podemos utilizar para verificar a validade de nossas hipóteses acerca da queda dos corpos?”. Não é difícil supor que a pergunta deva ser melhor formulada de modo a ser compreendida pelos alunos e, se necessário, apontar possíveis soluções. Tendo em vista que o que dificultou o experimento anterior foi a velocidade do movimento frente ao aparato de medição de tempo, o professor pode refazer a pergunta – pode ser “em que situação observamos uma queda mais lenta de objetos?”. As respostas podem ser variadas.

Para o caso de surgirem sugestões de observação de queda em um outro meio que não o ar (como a água) ou de objetos cujo movimento terá maior influência da resistência do ar (como uma folha de papel aberta), deve-se lembrar os alunos que as conclusões do experimento devem ser as mais gerais possíveis; contudo, levar em consideração muitos fatores pode deixar o problema demasiado complicado. No caso da queda de um objeto em outro fluido, o efeito do empuxo no movimento pode não ser desprezível para o movimento, por exemplo. Assim, surgindo essas sugestões, uma alternativa é esclarecer aos alunos que devemos nos ater, na construção desse modelo, apenas a elementos cujo tratamento não será muito complexo. Os limites de validade desse modelo devem ser discutidos depois de sua construção, nesta sequência; retornar a essas situações em que o modelo não fornece uma explicação razoável pode ser interessante. Posteriormente, pode-se discutir essa questão da queda dos objetos em outros meios, revelando que o que foi feito ao se restringir ao movimento no ar, minimizando os efeitos do empuxo, é geralmente chamado “recorte” na modelização. Contornando-se essa questão, o professor pode propor mais questionamentos, de modo a ter a sugestão de observar a queda de objetos num plano inclinado (pode, por exemplo, sugerir que nem sempre um movimento de algo que cai se dá necessariamente em

direção perpendicular ao chão). Se mesmo assim, a opção do plano inclinado não surgir, chegará o momento de o professor sugerir-la, e então introduzir as potencialidades desse experimento. Ao final dessa etapa, a turma deve ter compreendido que o foco do trabalho agora será o plano inclinado.

3.4 Quarta Etapa – Novas Hipóteses e Construção do Modelo

Tendo em vista que o experimento permite verificar o movimento de um objeto sob a influência da força gravitacional, mas não livre de outras interações, deve-se questionar acerca de quais fatores são importantes para o estudo do movimento nesse sistema: Primeiramente, as hipóteses anteriores ainda são válidas nesse caso? Não há razão aparente para que os alunos tenham abandonado até aqui a concepção de que “o mais pesado cai primeiro”, então é provável que a principal hipótese ainda seja essa (num plano inclinado, um corpo de maior massa demorará menos tempo para descê-lo). Se já houve a apresentação da questão da resistência do ar por algum aluno, é importante retomar essa questão. Será mais uma hipótese: a de que a resistência do ar pode influenciar no movimento. Contudo, é preciso também questionar os alunos quanto ao fato de que o plano inclinado pode estar trazendo novos elementos a serem analisados. Uma pergunta a ser realizada se o fator atrito ainda não foi apontado pelos alunos é “os objetos descem da mesma maneira em superfícies diferentes?”. Desse modo, fica apontada a influência da força de atrito, que indica uma nova hipótese: o atrito entre as superfícies tem papel importante na descida de um corpo no plano inclinado. Podem ainda surgir hipóteses aliadas à do atrito, como o fato de que objetos com maior área de contato com o plano sofrem mais a ação do atrito e por isso demoram mais para cair. O professor deve ter consciência de que a sequência deve ser flexível o suficiente para poder dar atenção as ideias surgidas em sala de aula e, ao mesmo tempo, propor testes eficazes de verificação. Em resumo, o objetivo dessa etapa é formalizar as hipóteses advindas das respostas à uma nova pergunta: “como os objetos descem um plano inclinado?” – além de deixar claro que o teste dessas novas hipóteses deve fornecer repostas à pergunta inicial “como as coisas caem?”.

3.5 Quinta Etapa – Descrição do Modelo

Esse é o momento de introduzir a noção de modelo em sala de aula. O conceito de modelo e modelização passa a ser explorado de

maneira explícita na sequência. Explica-se que para poder quantificar a influência de cada fator apontado pelos alunos, entender como se relacionam entre si, realizar uma descrição factível do movimento e ao fim, se possível, propor uma explicação para o comportamento apresentado, deve-se buscar criar um modelo para o fenômeno explorado. Ademais, ao tratar esse fenômeno (a descida de objetos pelo plano inclinado), poderemos estender as conclusões do modelo, gerando uma Ramificação – nesse caso, deseja-se poder remeter à situação da queda vertical dos corpos. Por tratar as grandezas físicas como variáveis e estabelecer relações matemáticas entre as mesmas, o modelo permite generalizações e previsões para, nesse caso, diferentes movimentos, através do ajuste dos parâmetros a cada situação. Conforme citado, esse conceito de modelo – uma representação que nos permitirá descrever e/ou explicar um fenômeno – deve ser dada a princípio, explicitamente. Espera-se que a prática da modelização, que será o “fio condutor” das próximas etapas, torne isso ainda mais claro para os alunos.

A Descrição do modelo inicia-se através da caracterização das variáveis relevantes para o sistema. Várias delas já foram apontadas (e registradas no quadro, como sugerido), como a Força Gravitacional, Resistência do Ar e Força de Atrito. Outras podem ser introduzidas pelo professor ou pelos alunos, ao serem questionados a respeito de quais grandezas físicas são importantes para essa descrição, como Posição, Velocidade e Aceleração. Utilizar o aparato experimental do plano inclinado para auxiliar visualmente na indicação da “presença” dessas variáveis pode ser interessante. É importante nessa etapa principalmente entender o conceito relacionado a grandeza de cada variável e qual característica do fenômeno representa. A distinção dos termos massa e peso pode ser realizada nesse momento, por exemplo.

3.6 Sexta Etapa – Formulação do Modelo

Nessa etapa, em que provavelmente a influência da abordagem tradicional pode ser mais perceptível, teremos a Formulação do modelo, ou seja, o estabelecimento das relações matemáticas existentes entre as variáveis. Busca-se na teoria científica correspondente subsídios para a construção do modelo de um fenômeno compreendido pelo seu limite de validade. Nesse caso, buscaremos na Mecânica Newtoniana o formalismo necessário para relacionar as variáveis e equacionar o movimento de um corpo descendo um plano inclinado. Assim, a equação da Aplicação da Segunda Lei de Newton para o plano inclinado vai sendo montada, explicando o que cada termo significa e as

dependências das forças envolvidas. Conforme já citado, a abordagem para essa parte será mais próxima do tradicional, já que é basicamente expositiva (não faz sentido buscar nos conhecimentos prévios dos alunos aqueles necessários para a formulação da equação, já que se trata de um conteúdo, a princípio, inédito para eles).

Toda essa formulação pode ser a princípio muito abstrata para os alunos. São vários conceitos importantes para a Mecânica sendo apresentados na mesma etapa, uns algumas vezes precedendo a existência de outros. Forças com mais de um tipo de dependência diferentes são abordadas nesse momento, além de que o processo para a construção da equação da Segunda Lei (que deve ser discutida em seu sentido físico, não somente apresentada como um fórmula matemática) exige manipulações algébricas e decomposição vetorial. Em suma, o trabalho realizado no quadro demanda bastante cuidado por parte do professor, mas também a etapa de Formulação não deve parar por aí. Desse modo, recorre-se ao uso do software Modellus, um aplicativo de modelagem matemática interativa, que permitirá explorar ainda mais a questão da modelização. Ao introduzir as mesmas equações usadas no quadro no programa, existe a opção de construir gráficos, animações e tabelas descritivas do movimento regido pelas fórmulas, ou seja, representar a previsão da Mecânica Newtoniana para a descida no plano inclinado.

É importante discutir o caráter descritivo e preditivo da simulação computacional, além da questão de que esse tipo de modelo não reproduz o comportamento encontrado na natureza para um fenômeno, ele apenas reproduz um comportamento estabelecido por Leis Físicas já conhecidas e aplicadas numa representação. Essa aplicação depende do sujeito que constrói o modelo; logo, a simulação somente reproduzirá o resultado da formulação proposta por esse sujeito (que pode depender de vários fatores, como por exemplo o nível de precisão necessário para as previsões do modelo). Vale lembrar também que algumas equações trazem consigo ideias que para os alunos não são muito evidentes. Por exemplo, anteriormente foi citado que o aluno pode supor uma dependência do atrito com a área do objeto que não aparece na equação da Força de Atrito. Na etapa de Descrição e Formulação essa questão pode ter sido abordada, mas na etapa de Validação pode ser realizada alguma verificação experimental em que essa dependência se mostre inexistente.

3.7 Sétima Etapa – Ramificação do Modelo

Verificamos as primeiras conclusões obtidas com o modelo. Tanto da manipulação das equações, no quadro, quanto do uso do modelo no Modellus em diferentes situações (através da atribuição de diferentes parâmetros), já se pode verificar que o tempo de queda para corpos de diferente massa é praticamente igual. A parcela da aceleração pela qual a gravidade é responsável tem a mesma contribuição para o movimento de qualquer móvel, independente de sua massa. O mesmo vale para a contribuição do atrito: desde que se trate do mesmo tipo de interface plano-objeto, a Força de Atrito retardará o movimento efetivamente da mesma maneira corpos mais ou menos massivos. A única força que pode causar alguma diferença no tempo de queda de corpos com diferentes massas é a Força Resistiva do Ar. Para quantificar o quanto essa contribuição é importante, utilizamos o Modellus com a atribuição de parâmetros correspondentes às dimensões encontradas no cotidiano. Testes sucessivos e a verificação dos resultados obtidos (em especial o gráfico do movimento) mostram que para dimensões dessa ordem de grandeza as velocidades alcançadas pelo objeto não são suficientes de modo a tornar o retardo no movimento considerável. Assim, conclui-se que apenas para altas velocidades a Força Resistiva do ar pode ocasionar diferenças nos tempos de queda de diferentes objetos (salvo ocasiões em que o formato do objeto acarreta uma “grande” superfície de interação com o ar, como a folha de papel esticada). Para os alunos essas conclusões podem ficar claras, mas como fazê-los estender esse pensamento para a situação de queda sem o plano inclinado (queda vertical)?

A princípio, a queda vertical pode ser entendida como um caso particular do modelo criado, ou seja, uma condição em que o ângulo do plano inclinado (fictício) é igual a 90° . Nesse caso, não há decomposição vetorial da Força Gravitacional, toda a sua componente se dá na direção do movimento. Além disso, não há interação entre objeto ou qualquer superfície, já que não há contato efetivo, ou seja, a Força de Atrito é inexistente. A Força Resistiva do ar ainda está presente, mas não há motivo para invalidar as conclusões anteriores referentes a sua influência, logo, ainda são aplicáveis. Desse modo, essa etapa objetiva estender os resultados do modelo formulado e, nesse caso, fazer a conexão entre as conclusões acerca das hipóteses do plano inclinado e as iniciais (queda vertical).

3.8 Oitava Etapa – Validação do Modelo

Com essa etapa, subteremos o modelo ao teste experimental, um dos meios para sua validação. Não é esperada uma tomada e tratamento de dados completos. Trata-se de um procedimento que, a princípio, pode ser complexo aos alunos, já que teriam de medir com relativa precisão tempo e distância, além de saber os coeficientes de atrito cinético entre os objetos testados e as superfícies disponíveis, bem como o uso de equações cinemáticas para o cálculo de grandezas derivadas, como a aceleração. O experimento será proposto objetivando validar as conclusões do modelo, mas não propriamente toda a formulação matemática do mesmo.

Um trabalho que visasse a comprovação experimental das relações matemáticas utilizadas é possível, mas demandaria mais tempo e algumas alterações nas etapas precedentes. Propõe-se então a medição dos tempos de queda de corpos de diferente massa, mas que constituam a mesma interface (mesmo material deslizando sobre a mesma superfície do plano). Evidentemente, a tomada de sucessivos valores é necessária para o cálculo de uma média dos tempos de queda para cada objeto testado. Propõe-se, inclusive, utilizar mais tipos de superfícies no plano inclinado. Apesar de não se saber os coeficientes de atrito cinético em cada caso, é possível estabelecer (se forem diferentes o suficiente) uma ordem crescente, qualitativa, de seus valores (na superfície em que o corpo mais demora para cair, provavelmente mais rugosa, o atrito é maior, ou seja, maior o coeficiente de atrito). Esse processo ajudaria na abstração de imaginar uma “regressão” no valor do coeficiente de atrito, de modo a atingir um valor muito pequeno, quase nulo: essa é a situação muito tratada nos livros didáticos, a do “atrito desprezível”. Nessas condições, espera-se que o aluno seja capaz de perceber que o tempo de queda de corpos de diferentes massas são iguais para a mesma distância (trabalhando-se nas dimensões disponíveis, próximas às do cotidiano), incluindo a situação limite de queda vertical – e que o experimento no plano inclinado contribui para a validação desse resultado do modelo.

3.9 Nona Etapa – Discussões Finais, Explicação da Avaliação e Aplicação do Conhecimento

Essa é a última etapa; trata-se de uma retomada de tudo que foi trabalhado nas últimas e o princípio da aplicação dos conhecimentos adquiridos em outras situações. O professor iniciará uma discussão a respeito da importância e significado de cada etapa no processo de construção do modelo, incentivando os próprios alunos a trazerem novamente esses elementos. Deve-se refletir a respeito das atitudes

tomadas e pensar a respeito de um possível processo de modelização mais geral. Para isso, pode fazer uma retomada dos Estágios do processo de modelização, e enquadrar cada uma das ações tomadas em sala de aula neles. Pode-se também tornar assunto para explanação o papel do modelo na ciência, tanto como parte da teoria, quanto como estruturador da produção de conhecimento. Deve-se também abordar a questão do limite de validade do modelo. Para velocidades mais altas, a Força Resistiva do ar torna-se apreciável, e a diferença entre os tempos de queda de corpos de massa diferente serão cada vez maiores. Além disso, com o acréscimo de velocidade, a dependência dessa força com velocidade muda, deixa de ser linear e torna-se quadrática.

Tendo concluído as discussões acerca da modelização, deve-se partir para a explicação da avaliação referente ao conteúdo estudado. Ressalta-se aqui que conteúdo aqui estende-se como conhecimento factual (a aplicação da dinâmica newtoniana à queda do corpos) e o conhecimento processual (as atividades envolvidas no processo de modelização). Assim, sugere-se que os alunos produzam um texto resumindo o trabalho desenvolvido (principalmente os aspectos que acharem relevantes) e o que aprenderam com cada etapa da sequência – uma avaliação que aborda essas duas facetas do conteúdo. Pode-se propor aos alunos que apliquem os conhecimentos adquiridos a outra questão. Instigar os alunos à prática da modelização e verificar até que ponto conseguem desenvolver o processo talvez seja a melhor maneira de avaliar o que realmente aprenderam sobre a construção de modelos. Temos, assim, duas partes principais da avaliação final: a escrita de um texto em que devem apontar o que foi realizado em sala e o que aprenderam sobre, e uma outra parte em que aplicariam esses conhecimentos à modelização de outra questão, outro fenômeno (ANEXO I). Espera-se que o trabalho desenvolvido propicie uma alteração na prática do professor em sala de aula, e isso pode se refletir logo ao término dessa sequência, ao dar prosseguimento aos próximos conteúdos. Uma via é tomar os exercícios comumente utilizados em sala de aula e dar uma nova interpretação a eles (BREWE, 2008). Não seria necessário a modificação dos enunciados dos mesmos, mas o professor deve esforçar-se para motivar os alunos a incorporar o discurso da modelização nesses exercícios. Além de resolver exemplos, ao acompanhar as atividades dos alunos, o professor deve sempre estar levantando questionamentos: “quais as simplificações feitas?”, “quais as considerações realizadas?”, “o resultado é factível?”, “quais as variáveis significativas ao problema?”, “existe um domínio de validade?”, etc.

4 DESCRIÇÃO DAS AULAS

Nesta seção discorre-se sobre o seguimento das aulas em que a sequência foi aplicada. As aulas foram aplicadas em duas turmas de primeiro ano de ensino médio, ambas com 25 alunos do Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Santa Catarina. O período de aplicação da sequência compreende o intervalo dos dias 06 de maio a 27 de junho de 2014. As turmas dispunham de 3 aulas semanais, uma de 40 minutos e duas de 45 minutos (em determinados dias da semana, as aulas tinham duração maior, noutros, menor, devido a diferença no número de aulas diárias de cada dia). O tempo estimado para tratar toda a sequência era, a princípio, de aproximadamente 10 aulas. Entretanto, levando em consideração o período de aplicação, oito semanas, o tempo efetivamente utilizado foi muito maior – a estimativa de 10 aulas compreenderia quatro semanas, mas foi utilizado o dobro. Na verdade, ao longo dessas oito semanas houve em certos dias eventos que tomaram algumas aulas (como, por exemplo, feriados), ou comprometeram seu seguimento; assim, nem todo esse período foi utilizado para aplicação do planejado. Além disso, ao longo do trabalho, novas ideias de atividades foram surgindo e sendo praticadas, o que ficará evidente nas descrições que se seguem; isso contribuiu para estender o tempo de execução do trabalho. Essa descrição foi realizada com base nos registros escritos do pesquisador (realizados após as aulas) e do professor da turma (realizados durante as aulas).

O período relatado como introdução refere-se à semana anterior ao início da execução do trabalho. Como apontado em trabalhos anteriores (HEIDEMANN, ARAÚJO e VEIT, 2012), essa nova abordagem pode se mostrar mais eficiente se anteriormente for realizada uma intervenção baseada em aulas tradicionais com o intuito de estabelecer uma base conceitual referente a teoria empregada na construção do modelo. Em outras palavras, tornaria o trabalho mais produtivo se os alunos já tivessem noção, nesse caso, das Leis de Newton e da formulação matemática das principais forças estudadas no primeiro ano do ensino médio. Assim, combinamos com o professor titular da turma que ele trabalharia com os alunos o princípio do conteúdo referente à dinâmica: o que são Forças, quais as Forças principais (Peso, Normal e Tração, o Atrito seria introduzido ao longo da sequência) e a Terceira Lei de Newton (necessária para o tratamento da força Normal). Essa exposição visa fornecer elementos para que os alunos possam, ao tratar da Descrição do modelo do plano inclinado, reconhecer as grandezas relevantes – como as forças que atuam sobre o

corpo. Durante essa semana de Introdução (em que houve apenas observação das aulas) e durante a primeira semana de aplicação da sequência estavam disponíveis as quatro turmas de primeiro ano do colégio; a restrição a apenas duas turmas se deu apenas após a segunda semana.

4.1 Introdução

Em cada turma, a estratégia para a introdução da dinâmica foi praticamente a mesma. Inicialmente pediu-se que os alunos se reunissem em grupos; em cada classe foi possível formar quatro ou cinco grupos. O professor colocou em cima de sua mesa dois objetos, uma pequena garrafa com conteúdo líquido e um pequeno objeto de metal (um “peso” de balança). Pediu aos alunos que listassem algumas maneiras de retirar os objetos de suas respectivas posições. Após o tempo para a tarefa, um aluno de cada grupo anotou na lousa as opções pensadas. Seguiu-se na classe uma discussão para encontrar algo de comum aos itens listados. Foram sugeridas muitas alternativas envolvendo o contato com os objetos, seja encostando-os diretamente ou arremessando algo. Em cada turma, pelo menos um grupo sugeriu também um ímã para executar a ação, pelo fato de um dos objetos ser de metal (escolha proposital do professor). Essa opção é interessante porque propicia explorar as forças a distância. Distanciando-se um pouco dessas opções, alguns alunos pensaram em um guincho puxando os objetos (sugestão que foi retomada quando o professor explicou a força de tração) e também no vento (que também envolve contato, mas de maneira mais sutil; os alunos apenas perceberam que é necessário o contato do objeto com as massas de ar que o empurram quando o professor lhes falou). De um modo geral, houve o reconhecimento de que o elemento comum a todas as opções é a presença de uma força. A partir desse ponto, o professor introduziu o conceito físico de força e classificações (quanto a serem forças de contato ou forças de campo), nesse último caso ilustrou através de alguns exemplos citados anteriormente. Definiu força como uma interação entre dois corpos capaz de alterar o estado de repouso/movimento ou causar deformação. Esgotando as discussões a esse respeito, passou a tratar de algumas forças principais: força peso, normal e de tração.

Utilizou mais tempo discutindo acerca da força peso e da normal. A primeira caracteriza como uma força de campo, que nas proximidades da Terra é vertical e atrai os objetos em direção ao seu centro. Expôs a generalização para a atração entre as massas dos corpos,

ou seja, coloca como “universal” a força gravitacional, embora não tratasse da equação da Lei da Gravitação Universal de Newton. Apenas esclareceu que todos os objetos atraem-se mutuamente, mas somente para grandes massas, como a da Terra, essa força é perceptível (considerável). Por isso, há uma expressão para a força gravitacional que surge entre a Terra e os corpos próximos à sua superfície, a força peso: $|\vec{P}| = m|\vec{g}|$, força essa medida, no sistema internacional de unidades, em Newtons, e $|\vec{g}|$ é o módulo aceleração do campo gravitacional da Terra, nesse caso medida em m/s^2 . Desse modo, já aproveitou para apresentar a unidade de força, o módulo da constante g ($9,8 \text{ m/s}^2$ ou aproximadamente 10 m/s^2). Pelo fato de a atração entre os corpos ser mútua, ela é entendida como resultado da interação entre os campos de ambos os corpos; no caso da força peso, trata-se da interação entre os campos gravitacionais da Terra e do corpo analisado – esse ponto precisou ser bem discutido, pois os alunos geralmente tinham a crença de que somente a Terra geraria campo em torno de si. Outro ponto em que os alunos tinham ideias equivocadas e que o professor aproveitou na explicação, foi a diferença entre os termos massa e peso. Esgotada a explanação acerca dessa força, passou-se a abordar a força normal.

O primeiro caso analisado foi o de um objeto parado em cima de uma mesa. O professor construiu um raciocínio com seus alunos: sabendo-se que há um força apontando para baixo atuando nesse objeto, que é a força peso, que outra força estaria atuando também sobre o corpo na direção vertical, mas com sentido para cima, para que ele possa permanecer parado (em equilíbrio)? As respostas dos alunos remetem à mesa. Quando o professor abordou o próximo caso, em que empurrou um livro contra a parede mas este permaneceu parado, surgiu certa confusão. A pergunta nesse caso é equivalente: que outra força aí existente é capaz de se opor à força que o professor faz ao empurrar o livro contra a parede? Alguns alunos cometem o equívoco de pensar que essa força é vertical e para cima, como na situação anterior, em vez de horizontal e com sentido apontando para fora da parede. Também se confundiram ao responder onde está sendo aplicada: no professor, no livro, ou na parede. Esse foi o momento pertinente para a introdução da Terceira Lei de Newton, que foi explanada com vários exemplos (com objetos da sala e os próprios alunos, dando as mãos ou se empurrando), ressaltando as características principais do típico par “ação-reação” (é sempre um par de forças com mesmo módulo, direção e sentido, aplicadas em corpos distintos). Feita essa explicação, retornou-se à

situação do livro. Os alunos já conseguiam responder a pergunta anterior e caracterizar essa força, que o professor nomeia força normal. Contudo, ao explorar mais exemplos (o professor desenha o livro em várias situações no quadro: sobre uma mesa, sobre uma mesa inclinada, encostando no teto), percebe-se que os alunos ainda mantêm duas concepções equivocadas: a de que a força normal é reação à força peso e de que o par ação-reação é capaz de se anular (como se as forças agissem no mesmo corpo). São necessários mais exemplos e repetir os pontos principais da explicação para que, aparentemente, não haja mais equívocos.

Próximo a conclusão das três aulas de física que compuseram essa semana, o professor ainda explorou a força de tração e suas características. O tratamento para a força ainda é mais qualitativo que quantitativo e em duas turmas ainda restou tempo para resolver na lousa alguns exemplos envolvendo diagramas de forças (o professor desenha sistemas de blocos no quadro em várias configurações diferentes e, com auxílio dos alunos, representa as forças que atuam nos blocos).

Ao final desse conjunto de aulas, o professor explica um trabalho que os alunos tiveram duas semanas para fazer. A avaliação consistiu-se na confecção de um dinamômetro. Os alunos, em grupos, deveriam pesquisar o que é e construir um, para entregá-lo ao professor. Não foram definidos materiais ou métodos para a execução da tarefa – pesquisar isso ficou a cargo dos estudantes, que tiveram liberdade para construir o dinamômetro seguindo suas próprias escolhas. A única restrição é que o instrumento deveria ser calibrado, pois sua precisão também faria parte dos critérios de avaliação. Foi ainda solicitado um trabalho escrito contendo o resultado das pesquisas dos alunos, principalmente o princípio físico de funcionamento do dinamômetro, mas também os materiais necessários para a confecção do aparato e a maneira como foi calibrado.

4.2 Primeira Semana

Na primeira semana de aplicação, foi possível, com as três aulas de cada turma, explorar apenas as três primeiras etapas da sequência, o que já indicou que a aplicação poderia demorar mais tempo que o planejado. Nas quatro turmas o professor (nesse caso, já o aluno autor deste trabalho, não mais o professor titular da turma, que passou a apenas a assistir e supervisionar as aulas) iniciou a aula escrevendo no quadro a pergunta “Como as coisas caem?”. A princípio timidamente, os alunos começaram a fornecer respostas, que são listadas na lousa. As

primeiras respostas, nas quatro turmas, não estavam relacionadas a “como” mas a “por que as coisas caem?”. Elas envolviam a força peso e a gravidade. A proximidade dessa aula com a em que a força peso foi introduzida provavelmente colaborou para isso – é possível que os estudantes tivessem imaginado que aquela discussão deveria estar diretamente relacionada com as aulas anteriores. Com mais perguntas (“será que todos os corpos caem da mesma maneira?”, por exemplo), os alunos começaram a fornecer respostas diferentes, desta vez com mais elementos caracterizando suas ideias a respeito da queda dos corpos. O fato de a ideia ter sido anotada no quadro não significou que fosse compartilhada por toda a turma, o que algumas vezes gerou discussões entre defensores de opiniões contrárias; mas, em geral, mais de um aluno demonstrava ter a mesma concepção, ou uma equivalente.

Apesar de a maior parte das respostas levantadas ter sido diferente em cada turma, algumas apareceram em todas. Em primeiro lugar vários alunos citaram “peso” e “gravidade” como elementos distintos. Enquanto uns alunos, ao responder a pergunta inicial diziam que o corpo cai por causa do peso, outros responderam em seguida que isso se dá por causa da força da gravidade, como se, aparentemente, não percebessem que são respostas equivalentes. O fato de a equação para a força peso apresentar a forma $|\vec{P}| = m|\vec{g}|$ talvez contribuiu para essa distinção equivocada pensada pelos estudantes. A presença das letras P e g possivelmente os leva a pensar que são dois elementos distintos que devem ser interpretados como forças distintas. Pela fala dos alunos que responderam dessa maneira, é isso que se pode inferir. É possível que estabeleçam relação entre as duas grandezas, mas o “diálogo” entre os conceitos de força e campo ainda não lhes parece claro – uma suposição razoável para a questão. Também foi comum apresentarem em suas respostas a relação entre massa e tempo de queda: para a mesma altura, corpos de diferente massa demoram intervalos de tempo distintos para atingir o solo. Demonstraram também conhecimento da influência do ar sobre o movimento de queda; em várias respostas foi citado o “atrito com o ar”. Alguns identificam que é a forma do objeto que determina o quanto esse atrito como ar influencia o movimento. É perceptível também uma certa confusão com os termos massa, volume e densidade – para alguns alunos a dependência do tempo de queda se dá com a massa, para outros, como o tamanho, outros ainda, com a densidade. Não há consenso quanto a velocidade do corpo quando cai: alguns alunos pensam que permanece constante, outros, que aumenta de maneira uniforme, há também aqueles que acreditam que ela aumenta

até certo valor e permanece constante. Por fim, introduziu-se o termo hipótese, como significado a todas essas ideias prévias a respeito do movimento de queda – previsões acerca de um fenômeno físico que realizam baseados em experiências anteriores. É interessante ressaltar que quando questionados sobre o significado da palavra “hipótese”, eles apresentaram como sinônimo os termos “suposição” e “teoria”. Embora o primeiro termo, nesse contexto, possa realmente ser considerado sinônimo, o segundo tem um significado diferente, muito mais amplo. Atentar para esse uso equivocado desses termos pelos estudantes é importante se o que se objetiva é uma visão mais coerente da ciência, então buscou-se sempre elucidar o sentido dessas expressões. A realização da primeira etapa conclui-se com a listagem de muito mais hipóteses iniciais que planejado.

A passagem para a segunda etapa da sequência presumia a escolha de apenas uma hipótese para ser testada, a de que “o mais rápido cai primeiro”. Mas como justificar para os alunos a escolha dessa opção em detrimento de todas as outras? O que isso aparentaria aos alunos? Que as outras hipóteses não são importantes? Que estão corretas? Que escolhemos arbitrariamente as hipóteses para serem testadas? A fim de que fosse mais significativo esse levantamento, decidiu-se realizar um momento que não estava previsto na sequência. Os alunos se reuniram em grupos (cada turma originou quatro ou cinco grupos) que deveriam escolher uma das hipóteses e propor um teste (experiência) para verificar se era falsa ou não. Após cerca de 10 minutos as sugestões foram compartilhadas com toda a turma, sendo anotadas no quadro pelo professor. Percebeu-se que os alunos têm dificuldades de expressar suas ideias; foi difícil detectar em suas falas as relações que estavam estabelecendo entre a hipótese escolhida e o teste. Algumas vezes propunham experimentos em que estariam testando outras hipóteses, não a selecionada; noutros casos, o teste não era conveniente. Por exemplo, pretendiam verificar a dependência do tempo de queda com a massa do objeto, mas ao mesmo tempo variavam a forma dos objetos de prova, sendo que a forma também foi também estabelecida anteriormente como parâmetro que poderia interferir na queda. Foi necessária bastante discussão no grande grupo até que ficasse entendida a intenção de cada equipe; muitas vezes um grupo que já havia dado sua contribuição buscava ajudar outro que não havia entendido bem a atividade.

Ao final, muitas sugestões na verdade consistiam no mesmo teste, apenas foram expressadas de maneiras diferentes – mas os alunos não percebiam a princípio. Depois da discussão, isso lhes ficou mais

claro. Os testes mais sugeridos envolviam liberar de uma mesma altura objetos de massas diferentes mas de formas semelhantes (como esperado, para testar a concepção de que o mais massivo cai mais rápido) ou liberar de uma mesma altura objetos de mesma massa mas formatos bastante distintos (o exemplo mais citado foi soltar uma folha de papel aberta e uma fechada, para verificar a influência do “atrito do ar” na queda) – essa última parte não era esperada, os alunos mostraram-se igualmente motivados a testar as duas concepções. Outro fato interessante é que essas experiências não envolviam medições. Tentou-se mediar a discussão na busca de que os próprios estudantes verificassem a necessidade da tomada de dados para a validade do teste, o que também demorou. As suas ideias geralmente envolviam liberar os dois objetos simultaneamente e ver quem atingia o chão primeiro. O fato de que essa verificação algumas vezes acarretava discordância – enquanto alguns alunos diziam que determinado objeto atingia o chão primeiro, outros alegavam que a chegada foi simultânea – poderia ser usado para remeter a ideia de que uma medição do tempo seria necessária para uma verificação mais conclusiva (menos questionável). Quando postos frente a essa questão, eles imaginavam outros artifícios, como colocar várias pessoas para observar o experimento – a constatação da maioria provavelmente seria a “verdadeira”. Quando pensam em experiências para verificação de hipóteses, a mera observação e constatação visual lhes parece suficiente, prescindindo de quaisquer tomada de dados. Deste modo, as aulas focadas em modelização poderão contribuir para construir uma melhor visão de como a experimentação é realizada na ciência.

Frente a essas duas alternativas de atividade experimental, e após ter-se chegado a conclusão de que seriam necessárias medições para validação do teste, as turmas optaram pela primeira opção (teste da dependência do tempo de queda com a massa do objeto). A maneira de conduzir a escolha dos alunos para essa experiência foi o fato de que a massa pode ser facilmente medida (embora não o fizéssemos naquele momento pela ausência de uma balança), enquanto que testar a influência da forma do objeto envolveria controle de um parâmetro mais difícil de se medir, a área do objeto – o que poderia tornar a execução do teste “mais complexa”. Além disso, alguns alunos sugeriram que ao liberar a folha fechada e a folha aberta, o vento, ou seja, a movimentação do ar na sala, poderia estar interferindo no experimento, um fator a mais a ser levado em consideração.

Na primeira turma em que esse teste foi realizado, três alunos (um por vez) liberaram duas garrafas de água, uma vazia e uma

parcialmente preenchida com água e mediram os tempos de queda (com um cronômetro, para a mesma altura, medida através de uma fita métrica, de 1,50 m). Esse teste foi realizado frente a classe toda, os alunos vieram um após o outro, voluntariamente, e os tempos medidos foram anotados no quadro. Foram suficientes três tomadas de dados para os alunos perceberem que algo a mais deveria ser pensado. Os três pares de dados (tempo de queda para a garrafa vazia e tempo de queda para a garrafa preenchida) resultaram em valores diferentes, sendo que em dois deles os dados foram iguais entre si (mesmo tempo de queda medido) e no outro houve uma diferença de cerca de 10% entre as medições. Isso gerou muita discussão na turma: muitos colegas alegavam que seus colegas estavam fazendo algo de “errado”, e por isso não foi difícil motivá-los a ir à frente da turma executar o experimento – os voluntários queriam eles mesmos se assegurar de que o teste estava sendo realizado “corretamente”. Ao final da discussão, a turma pareceu concordar com o fato de que o problema não estava em quem efetua a medição, mas no método utilizado para medir o tempo. A questão é que o movimento de queda tinha associado a ele um intervalo de tempo de ordem de grandeza próxima a do tempo de reação do operador do cronômetro; assim, haveria uma imprecisão intrínseca a esse método de medição, grande o suficiente para impossibilitar a construção de qualquer conclusão acerca da hipótese inicial com o experimento nessa configuração. Esse era o objetivo da segunda etapa: expor aos alunos essa questão para possibilitar a introdução de um experimento alternativo: o plano inclinado.

Nas outras três turmas, houve uma diferença na dinâmica adotada. Na classe anterior, apesar de muitos alunos terem participado ativamente da discussão, alguns ficaram de cabeça baixa durante a aula, visualmente desmotivados. De modo a propiciar a inclusão de todos os alunos na atividade, o professor titular sugeriu que ela fosse executada nos mesmos grupos formados durante a etapa de levantamento de hipóteses. Assim, após decidir por qual hipótese a ser testada, foi pedido aos alunos de cada grupo que realizassem a atividade (deveriam buscar objetos de formatos semelhantes, mas massas diferentes, e deixá-los cair da mesma altura, cronometrando o tempo de queda). Quando os resultados foram compartilhados, novamente houve conflito de verificações, nesse caso, entre os grupos. Alguns, baseados em seus resultados, concluíam que tempos de queda para corpos de diferentes massas eram os mesmos; para outros, eram diferentes. Atrair esse resultado ao tempo de reação do operador humano foi mais fácil nesse caso porque na maior parte das equipes o integrante que liberava os

objetos não era o mesmo que cronometrava o tempo – isto era feito a partir de um comando oral do parceiro. Após a discussão dos resultados, esse problema ficou mais evidente aos alunos. Assim, nas outras três turmas também conseguiu-se chegar ao ponto esperado: desenvolver a atividade a fim de que os alunos compreendessem que não é possível extrair medidas confiáveis para o experimento tal como foi realizado, o que torna impossível concluir algo sobre a verificação das hipóteses da dependência do tempo de queda com a massa.

Assim, com as quatro turmas conseguiu-se passar da segunda etapa para a terceira. Esta última envolvia as discussões necessárias para chegar-se a proposta e estudo do movimento de queda através do plano inclinado. Apesar de compreenderem que, ao se intencionar estudar o movimento de queda seria necessária a alternativa de um movimento mais lento, para que o tempo pudesse ser medido com mais precisão, os alunos não foram capazes de sugerir o estudo no plano inclinado. Em apenas uma turma um aluno propôs isso, mas o fato de ele ser repetente e já ter estudado esse sistema no ano anterior provavelmente foi que o levou a ter essa ideia. O professor tentou ainda modificar a pergunta de maneira a facilitar a obtenção da resposta, mas os alunos buscavam sempre outras alternativas, como liberar o corpo em outro meio, como a água, ou colocar nele um “para-quadras”. Foi necessário colocar para eles essa sugestão, que depois de explícita, lhes pareceu uma proposta muito válida. Partiu-se para a aplicação da quarta etapa, quando, feito esse “recorte”, começou-se a apresentar a modelização de maneira explícita.

4.3 Segunda Semana

Antes de iniciar a modelização efetivamente, decidiu-se fazer uma revisão quanto às hipóteses iniciais dos alunos, para que a classe verificasse se elas continuavam sendo válidas para o movimento no plano inclinado. Vale ressaltar que, a partir dessa semana, o trabalho passou a ser desenvolvido apenas com duas turmas. A pergunta “Como as coisas caem no plano inclinado?” foi escrita no quadro, de modo a deixar claro o novo foco das atenções: a queda no plano inclinado. As hipóteses foram reescritas e revistas uma a uma, permanecendo praticamente inalteradas, apenas um fator foi acrescentado: o atrito. Os alunos foram capazes de reconhecer que a interação do objeto com a rampa ocasiona um elemento a mais a ser considerado, além de que o movimento é mais lento que no caso vertical devido ao ângulo de inclinação. Feito esse levantamento de novas hipóteses (ou apropriação

das iniciais), iniciou-se a etapa em que a construção de modelo passou a ser explorada de maneira explícita. Em primeiro lugar, buscou-se saber o conceito prévio que os alunos tinham a respeito do termo “modelo”, de maneira verbal, no grande grupo. As primeiras respostas sempre faziam referência à profissão de modelo na moda. Depois, ao pedir-se para que pensassem num contexto mais amplo, os alunos geralmente se referiam ao modelo como um “exemplo”, ou outra resposta semelhante, mas vaga. Contudo, em uma das turmas um aluno disse que modelo é uma representação. Partindo dessa ideia, apresentada pelo professor numa das turmas e sugerida por um aluno na outra, os alunos foram questionados quanto ao que imaginavam a respeito das características um modelo na Física, ou seja, que elementos uma representação física deveria conter. O máximo que os alunos conseguiram responder foi “fórmulas”, um indício da forte imagem da física como uma aplicação de equações em problemas – entretanto, para introduzir o conceito de modelização física, já é um ponto de partida. Os quatro estágios do processo de modelização foram apresentados. O professor explicou o significado de cada um deles, de maneira introdutória. Não se espera que os alunos entendam integralmente o papel de cada etapa ainda nesse momento da sequência; esse é um entendimento que vai sendo construído aos poucos. Assim, começou-se a executar a primeira etapa do processo, com a participação dos alunos.

Como na etapa de Descrição do modelo, as propriedades relevantes do fenômeno vão sendo selecionadas e definidas, foi solicitado aos alunos que sugerissem justamente quais dessas características seriam importantes. Como foi esclarecido para os alunos que deveria ser elaborada uma representação, para auxiliá-los na tarefa foi levada uma canaleta à sala, que permanecia inclinada em cima da mesa, na qual o professor fazia descer uma bolinha, para ilustrar concretamente que movimento estava sendo analisando. Ao mesmo tempo, um desenho representando um bloco descendo um plano inclinado foi feito no quadro. As turmas começaram primeiro por listar as forças que atuavam sobre o bloco. Os alunos, ao elencar variáveis descritivas de um objeto, deram inicialmente mais atenção às variáveis-interação (as forças que atuam sobre o objeto). Depois, com a orientação do professor, foram identificando as variáveis-objeto e as variáveis-estado. Ao final, dos questionamentos havia a seguinte lista de variáveis na lousa: força normal, ângulo de inclinação, força de resistência do ar, força de atrito, velocidade, massa, tempo, posição e aceleração. Nesse ponto, já ficou estabelecido que quando os alunos estavam se referindo ao “atrito do ar”, na verdade estavam remetendo à força de resistência

do ar – foi necessário dar bastante atenção às diferentes acepções que esses termos (atrito e resistência) passariam a ter no modelo. No estágio de Descrição é importante além de elencar essas grandezas, também defini-las, relacionando cada uma às características do sistema. Para algumas (massa, posição, tempo), os alunos já possuem ideia intuitiva, não houve a necessidade de efetivamente definir cada uma, mas espera-se que essa ideia incorpore um significado mais próprio da Física ao logo do processo de modelização. Para outras, foram anotadas no quadro definições simplificadas para que os alunos pudessem ter melhor ideia a respeito de a que cada termo se refere. Como se pode perceber, algumas são apenas definições introdutórias, que não visam esgotar cada conteúdo, apenas dar um significado objetivo para cada grandeza no modelo, a fim de que seus resultados possam ser interpretados posteriormente.

- Força normal é a força de reação à compressão de uma superfície.
- O ângulo de inclinação é o ângulo formado entre o plano horizontal e o plano inclinado.
- Força de resistência do ar é uma força de oposição ao movimento que surge devido ao deslocamento num meio fluido.
- Força de atrito é uma força de oposição ao movimento que surge devido ao contato entre superfícies.
- Velocidade é a razão entre a variação de posição e a variação do tempo ($V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$, $\Delta S = S_f - S_i$, $\Delta t = t_f - t_i$).
- Aceleração é a razão entre a variação de velocidade e a variação de tempo ($a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$, $\Delta V = V_f - V_i$).

Passou-se à próxima etapa da sequência, que trata do estágio de Formulação do modelo. Como nessa etapa as relações matemáticas entre as grandezas físicas passam a ser estabelecidas, é nesse estágio que as equações para cada força são introduzidas. Entretanto, para que possam ser melhor exploradas, optou-se por abordar as três Leis de Newton primeiro. Como a lei de ação e reação já havia sido explicada anteriormente pelo professor, escolheu-se fazer uma revisão a respeito dessa para depois tratar das outras duas. Os alunos ainda mostravam dúvidas e confundiam alguns pontos (principalmente ao pensar que um par ação-reação pode se “anular”). Essa revisão acabou tomando mais tempo que o planejado. Depois, procedeu-se à explicação da Primeira

Lei e da Segunda. Para a primeira, a principal dificuldade é que a maior parte dos alunos já tem previamente a concepção de que “para haver movimento é necessário força”. Aparentemente, após uma exposição detalhada, os alunos aceitaram a ideia de que um movimento retilíneo uniforme pode ocorrer sem que haja forças atuando sobre um corpo, ou, equivalentemente, quando a força resultante é nula. A discussão com relação à segunda lei ocorreu sem grandes dificuldades, já que foram primeiro explorados exemplos que ilustravam a proporcionalidade entre força e massa, e força e aceleração (pessoas empurrando automóveis, chutando uma bola, etc.). Somente depois de feita essa discussão é que a expressão $\vec{F}_R = m\vec{a}$ foi introduzida. Estando estabelecidas as três leis de Newton, pôde-se passar a, de fato, relacionar as forças no caso de um objeto descendo um plano inclinado.

4.4 Terceira Semana

No estágio de Formulação (sexta etapa da sequência) são estabelecidas as relações matemáticas entre as variáveis físicas do modelo. Ao tratar do plano inclinado, essas relações são representadas pela expressão de cada uma das forças que atua no bloco. Assim, a primeira que foi tratada nas classes foi a expressão da força peso, ainda na etapa de Introdução da sequência; na aplicação da sequência foi realizada apenas uma revisão, destacando a relação $\vec{P} = m\vec{g}$. Seguindo para a força normal, apesar de anteriormente os alunos já terem visto exemplos que opõem-se a essa ideia, muitos ainda afirmavam que seu módulo seria sempre igual ao da força peso. Foi necessário apresentar mais exemplos que ilustrassem outras situações, em que isso não fosse verdadeiro. Ao final dessa explicação, o que se mostrou é que não há realmente uma expressão para a força normal como há para a força peso, é necessário sempre analisar como essa força se apresenta em cada contexto - a maneira de o valor do módulo da força normal varia com o sistema. Para as forças de atrito e de resistência do ar, ainda não haviam sido introduzidas expressões matemáticas, foram abordados até o momento apenas aspectos qualitativos.

Como descrito na fase de Introdução, a avaliação referente ao conteúdo ensinado naquela semana consistia, basicamente, na confecção de um dinamômetro. Quando o professor solicitou aos alunos a execução da tarefa, o pesquisador passou a pensar em como a adição de um instrumento como o dinamômetro poderia beneficiar a sequência, através da inclusão de alguma atividade experimental. A conclusão a

que se chegou é que a força de atrito poderia ser melhor abordada se, em vez de ter sua equação apresentada sem nenhuma dinâmica experimental, fosse realizada alguma atividade investigativa utilizando o dinamômetro. Assim, mesmo não estando prevista na sequência, incluiu-se nessa semana uma atividade envolvendo esse instrumento no momento da formulação da força de atrito. Contudo, ainda dependia-se de saber que tipos de dinamômetros seriam entregues pelos alunos, para saber quais as possibilidades e dificuldades envolvidas em alguma atividade que dependesse dos mesmos. Infelizmente, a maior parte dos instrumentos elaborados era inadequada ao trabalho, apresentando vários problemas¹.

Mesmo com essa dificuldade, o pesquisador se empenhou em avaliar os aparatos disponíveis e selecionar os que estariam mais aptos (ou "menos inadequados") para a realização da atividade. Assim, antes de levar os alunos ao laboratório de física, os dinamômetros foram testados e cinco foram escolhidos; cada um foi colocado sobre uma

¹ O momento de entrega desse material foi de grande surpresa, tanto para o pesquisador quanto para o professor da turma. Apesar de alguns dinamômetros serem parecidos em alguns aspectos (confeccionados com canudos de plástico e elástico), muitos ainda diferiam bastante uns dos outros (uso de variados materiais: molas de espiral de caderno, régua, lápis, graveto, garrafas de água, etc.). Mas não somente a diferença entre eles causou espanto, mas o fato de que vários não tinham condições de serem utilizados, nem mesmo em experimentos simples. Nenhum deles apresentava escala graduada em Newton (N) - o mais próximo de uma escala aplicável a um dinamômetro foi a de um que apresentava medidas em gramas (g). A maior parte delas apresentava unidades arbitrárias (no caso de haver, de fato, uma escala). Em alguns trabalhos escritos figuravam relações matemáticas entre a graduação da escala e a correspondente medida em massa, o que demonstra uma tentativa de calibração, mas incompleta. Os problemas não se resumiam à escalas, em alguns casos até mesmo o funcionamento dos instrumentos era confuso. Como o maior número deles apresentava uma espécie de "gancho" para encaixe, não proporcionando nenhuma maneira de acoplamento que não fosse "pendurar" um corpo no dinamômetro, presume-se que a maioria dos alunos confeccionou seu instrumento para medição apenas da força peso de objetos - não a medição de forças de maneira geral, em diferentes direções. A calibração da maior parte dos dinamômetros não era precisa; a escala muitas vezes se estendia até regiões em que a Lei de Hooke não era mais válida para a mola ou elástico (a força elástica existente na mola não variava linearmente com o comprimento alongado). Por fim, os elementos móveis de alguns dinamômetros, ao deslizarem uns sobre os outros, conferiam um elemento de erro sistemático a qualquer medida possível, devido a força de atrito considerável existente entre essas peças.

mesa, na qual deveria trabalhar uma equipe, juntamente com um objeto que tinha conectado a si um fio de nylon (para facilitar o encaixe com o dinamômetro). Esse objeto era um disco de metal de cerca de 1 kg, cujas bases tinham diferentes formatos devido a rebaixas, ou seja, as superfícies de cada base do disco tinham áreas diferentes (a área uma face do objeto era diferente da área da face oposta). Cada turma foi levada ao laboratório: foi solicitado que ocupassem todas as mesas e que realizassem experiências com o que estava disponível, podendo a equipe de uma mesa trocar seus instrumentos com a de outra (já que os dinamômetros tinham características diferentes). O objetivo das experiências seria explorar a força de atrito, ou seja, investigar as suas características utilizando algumas verificações experimentais. Alguns alunos entenderam essa atividade ao estabelecer uma analogia com a primeira dinâmica: no início da sequência os alunos elencaram hipóteses com relação a queda dos corpos e realizaram testes para verificar se eram falsas ou não; agora deveriam fazer o mesmo, mas, em vez da queda, estariam lidando com a força de atrito. Entretanto, a maior parte dos alunos não entendeu, a princípio, o que deveria fazer.

O objetivo de não ter usado roteiros experimentais foi conferir liberdade aos alunos para que pudessem realizar suas próprias investigações. Ao pensar os experimentos, selecionando quais propriedades do sistema cuja observação é relevante, propor relações entre elas, verificá-las através do teste, e estabelecer princípios gerais para a ocorrência do fenômeno, os alunos estão desenvolvendo habilidades de modelização. Assim, para ajudar os alunos na atividade foram-lhes realizados questionamentos a respeito de suas concepções sobre o atrito entre os objetos, instigando a reflexão a respeito desse fenômeno e fomentando o surgimento de ideias para a realização dos experimentos – além, evidentemente, da devida orientação para o manuseio dos instrumentos. O professor também teve o papel de supervisionar as discussões entre os alunos, ajudando-os na sua argumentação, e também intervir quando estivessem trabalhando com base em alguma ideia equivocada, sugerindo mais reflexão e propondo questões que colocassem à prova essas concepções. Os alunos anotaram suas observações e conclusões e entregaram ao professor.

Na aula seguinte, os pontos principais dessa atividade experimental foram discutidos em sala. De posse das anotações dos alunos, foi possível identificar as questões que mais suscitaram dúvida. Vários grupos tiveram dúvidas com relação ao registro da medida de força do dinamômetro; alguns ponderaram a respeito das limitações dos instrumentos disponíveis e escreveram algo a respeito em suas

anotações. Os problemas levantados no texto anteriormente foram apresentados aos alunos, que puderam refletir a respeito de que elementos faltaram na confecção de seus respectivos dinamômetros. A maior parte dos testes realizados pelos alunos envolviam conectar o dinamômetro no disco e arrastá-lo por uma superfície. Além dos problemas apontados com relação ao instrumento, os alunos realizavam muitas vezes observações diferentes pois puxavam o dinamômetro com diferentes velocidades e em diferentes direções a cada execução (não utilizavam o dinamômetro sempre na horizontal, mas inclinavam-no). Assim, um ponto em que os grupos concordavam é que o atrito depende do tipo de superfície (verificaram isso ao deslizar o objeto sobre o chão, a mesa ou um caderno), mas quanto à força de atrito depender ou não da área de contato, não houve consenso (eles testaram essa dependência puxando o disco cada vez com uma face diferente em contato com a superfície; como elas tinham formatos diferentes, as áreas de contato eram distintas).

Nessa aula de discussão, para que esse ponto fosse esclarecido, foi levado à sala um dinamômetro utilizado nas aulas de Laboratório de Física do Departamento de Física da UFSC, ou seja, um instrumento apropriado para trabalho em laboratório. Além de entrar em contato com um instrumento científico profissional, os alunos puderam ver como efetuar uma medição da força de atrito com o mesmo objeto em condições mais adequadas (com o dinamômetro na horizontal e puxando lentamente até observar o princípio do deslocamento do disco). Foi possível demonstrar para os alunos que a dependência da força de atrito com a área de contato é praticamente nula e que há de fato dependência com o material das superfícies em contato. A última hipótese apresentada pelos alunos alegava dependência da força de atrito com a massa do corpo. Para mostrar que na verdade essa dependência não está ligada diretamente à massa do objeto, foi necessário mostrar algumas situações em que a força existente entre objeto e superfície (perpendicular a esta) não é numericamente igual ao peso – como um objeto sendo esfregado na parede, ou, no caso do disco, uma força externa pressionando o corpo contra a mesa em que está deslizando.

Em suma, na etapa de Formulação, foi realizada uma investigação experimental que visava relacionar a força de atrito com algumas outras grandezas; as verificações podem ser resumidas em três aspectos básicos: a força de atrito depende do tipo de superfícies em contato e da força existente entre a superfície e o objeto (perpendicularmente) e a dependência com a área de contato é muito pequena, podendo ser descartada. A expressão que abrangesse essas

características deveria ser aplicável ao plano inclinado. Foi apresentada a equação $F_{at} = \mu N$, que se adequa às exigências, onde a força de atrito é F_{at} , μ representa o coeficiente de atrito entre as duas superfícies (que está relacionado ao primeiro aspecto listado anteriormente) e N é a força normal (representa o segundo aspecto, a força de compressão existente entre objeto e superfície). Por fim, a diferenciação entre atrito estático e dinâmico era necessária. Foi demonstrado com o dinamômetro também que a força necessária para iniciar o movimento é maior que a existente quando o corpo já está se locomovendo (alguns grupos já haviam feito essa constatação também, no laboratório). Assim, a essa força necessária ao início do movimento está associado um valor de força de atrito máximo, relacionado ao coeficiente de atrito estático μ_e ; já para o caso em que um objeto já se encontra em movimento nessa mesma superfície, será utilizado μ_d , o coeficiente de atrito dinâmico. Conforme a observação realizada, esses coeficientes, para o mesmo par de superfícies em contato, geralmente obedecem a relação $\mu_e > \mu_d$.

A última força que precisava ser formalizada matematicamente era a de resistência do ar. Foi exposta e explicada aos alunos a relação $\vec{F}_{res} = -b\vec{v}$. O parâmetro b foi chamado coeficiente de arrasto do ar, e está relacionado, entre outros fatores (como o fluido em que o corpo de locomove), ao formato do objeto que cai, algo que é compatível às hipóteses iniciais apresentadas pelos alunos. A dependência com a velocidade não causou estranheza para os alunos, pois foram abordados exemplos em que a relação com essa variável era mais evidente (como a força que uma pessoa sente na mão ao coloca-la para fora da janela de um carro em movimento). O sinal negativo está atrelado ao fato de que a força de resistência do ar sempre se opõe ao movimento. Foi resolvido um exemplo de exercício, com atribuição de valores para essas grandezas, que tratava do movimento de uma gota de chuva, que iniciasse uniformemente acelerado, têm sua aceleração diminuída com o passar do tempo e, após a gota atingir a velocidade terminal, para a ser uniforme. Esse exemplo foi muito importante, porque sempre em que era necessário fazer uma analogia com relação à influência da força de resistência do ar num movimento, recorria-se a ele. Tendo abordado com os alunos todas as expressões necessárias para relacionar as forças às propriedades do sistema, era chegado o momento de aplicá-las à construção do modelo do plano inclinado.

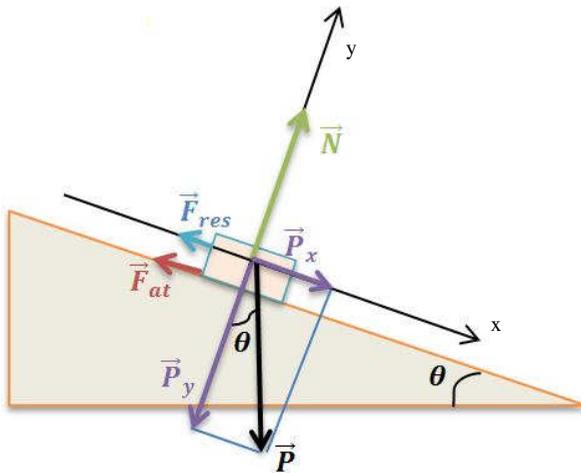
4.5 Quarta Semana

Com o desenho ilustrando novamente o objeto descendo um plano inclinado, foi pedido para os alunos que desenhassem na lousa os vetores das forças que atuam sobre o bloco. Interessante foi o fato de que em uma das turmas, um dos alunos, antes mesmo de começarem a tarefa, perguntou se o objeto estava parado ou em movimento. Aparentemente, sua ideia seria que para duas condições distintas (repouso ou movimento), o tratamento dado às forças seria diferente; logo, cada condição acarretaria um modelo diferente. Frente a essa situação (outros colegas deram apoio a essa ideia), foi feita uma opção no processo de modelização: esse modelo foi construído para um bloco em movimento. Significa que foi realizado um “recorte”, já que, dentre diferentes situações possíveis, foi escolhida especificamente uma para ser modelizada. Os possíveis resultados que esse modelo poderia gerar para um objeto em repouso seriam explorados na etapa de Ramificação – segundo o referencial adotado, quando se aplicam condições específicas ao modelo, explorando as implicações e resultados disso, o que se está fazendo é trabalhar uma ramificação do modelo.

Alguns estudantes começaram desenhando no bloco as forças peso e normal. Houve discussão nessa parte porque alguns alunos defendiam que a direção da força peso deveria estar ao longo do plano, enquanto outros afirmavam que deveria ser vertical. Quanto à força normal, uns diziam que deveria ser vertical, já outros defendiam que deveria estar numa direção perpendicular à superfície. Foi necessário revisar novamente as características dessas forças. Feito isso, os alunos que estavam desenhando foram capazes de corrigir os vetores, indicando-os de maneira correta. Os vetores das forças de resistência do ar e de atrito foram postos no diagrama, corretamente, sem que houvesse questionamento de nenhum colega. Em uma das salas um aluno sugeriu que houvesse uma força atuando ao longo do plano, no sentido da queda – como se fosse necessária uma força adicional para que houvesse movimento naquela direção e sentido. Foi esclarecido que a força resultante atua naquela direção e sentido, mas não é necessária, e de fato não existe, nenhuma força adicional para que a soma tivesse essas características – a soma vetorial das quatro forças representadas resulta na força é o que confere movimento ao bloco. O próximo passo foi o de representar os eixos do plano cartesiano no desenho, a fim de executar a decomposição vetorial e posterior soma das forças. Os alunos a princípio não entendem porque os eixos não estão posicionados na maneira “tradicional”, mais comum, mas depois de esclarecer que com a disposição proposta apenas a força peso precisa sofrer decomposição, eles parecem muito mais abertos a essa nova maneira de representar.

Construir o raciocínio pelo qual o ângulo de inclinação do plano é relacionado com o ângulo entre a força peso e o eixo y é uma passagem bastante difícil a ser realizada com a turma. O professor da turma, que acompanhava a aula, sugeriu utilizar semelhança de triângulos em vez de relações trigonométricas mais complexas, ao que os alunos pareceram compreender melhor. O diagrama de forças do corpo no plano inclinado desenhado na lousa era próximo ao do desenho abaixo.

Figura 1 – Representação das Forças no Plano Inclinado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na direção y, a componente da força resultante é nula – as forças opostas têm o mesmo módulo ($N = P_y$). Logo, a força resultante atua na direção x, e, como se trata de uma soma vetorial, relacionando as demais forças, seu módulo pode ser dado pela equação $F_R = P_x - F_{res} - F_{at}$. Falta ainda relacionar P_x e P_y ao peso P, o que foi realizado através da aplicação das relações trigonométricas ao triângulo retângulo em que foi destacado o ângulo θ . Desse modo, as componentes ficam representadas por $P_x = P \text{ sen}(\theta)$ e $P_y = P \text{ cos}(\theta)$. Ao aplicar a equação do princípio fundamental da dinâmica $\vec{F}_R = m\vec{a}$, substituindo cada força pela respectiva expressão definida anteriormente, e isolando a aceleração a, determina-se a dependência dessa grandeza com as demais variáveis do sistema – podendo-se construir uma descrição do movimento do bloco no plano.

$$a = g \operatorname{sen}(\theta) - \mu_d g \cos(\theta) - \frac{b}{m} v$$

Esse dado, a aceleração, é o principal resultado do estágio de Formulação, explorado na etapa seguinte.

4.6 Quinta Semana

Nesta semana, a expressão para a aceleração foi explorada com os alunos: as informações possíveis de serem extraídas, suas implicações, a atribuição de condições a esse resultado do modelo, etc. Por si só, essa expressão não representa nada para os alunos, apenas mais uma “fórmula”. Era necessário de alguma maneira utilizar esse dado na representação do movimento, mas os alunos não dispunham, naquele momento, da matemática necessária para extrair informações como a posição e velocidade do objeto no plano. Para realizar essa tarefa recorreu-se a um software de modelização computacional, o Modellus, em que é possível construir representações com auxílio de gráficos e animações através da implementação de um modelo matemático previamente construído. Assim, escolheu-se, através da inserção da equação para a aceleração do objeto no sistema no programa e da atribuição de valores às características do sistema, construir gráficos para o comportamento da aceleração, da velocidade e da posição em função do tempo.

Antes de quaisquer considerações a respeito dos gráficos, foi realizada com os alunos uma breve discussão a respeito do papel das simulações computacionais na construção de modelos na Física. Foi esclarecido aos alunos que, para poder explorar algum recurso computacional na representação de um fenômeno, o modelo matemático já precisa estar previamente estabelecido. Assim, os comportamentos apresentados numa simulação não representam o fenômeno tal como se encontra na natureza; apenas representam os resultados e consequências do modelo antecipadamente construído, e será tão mais “fiel” ao fenômeno quanto maior o grau de aplicabilidade, precisão e limite de validade do modelo.

Como colocado anteriormente, além da expressão da aceleração também é necessário introduzir algumas informações a respeito do sistema, como as propriedades do suposto plano e do objeto que deslizará sobre o mesmo. Foi introduzido inicialmente um valor arbitrário para o coeficiente de atrito dinâmico entre as superfícies, mas próximo dos valores usados em típicos exemplos e problemas didáticos (0,3); o ângulo de inclinação seria de 30°, o objeto teria massa 100

gramas, e o coeficiente de arrasto seria definido em função de outras características. Pesquisou-se a respeito de como deveria ser introduzido o coeficiente de arrasto para esse corpo e optou-se por calcular esse parâmetro baseado em outras características (ALÉ, 2010). Assim, foi feita uma estimativa do coeficiente de arrasto para um bloco retangular, com seção reta transversal de área $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$, deslocando-se no ar à temperatura de cerca de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (para cálculo da densidade do meio).

Como a variável independente na construção do gráfico é o tempo, o valor máximo estabelecido a esta determina quando o programa interrompe o cálculo dos variáveis e a construção dos gráficos. Assim, o que limita a “observação” da queda de um objeto num plano inclinado, segundo o modelo em processo de construção, não é o “tamanho” do plano, mas o tempo de observação do movimento. Ponderou-se com os alunos a respeito do tempo envolvido na queda de um objeto numa calha posta em cima da mesa, como a que estava sendo utilizada para demonstrações em sala de aula. Eles concordaram em supor que era da ordem de alguns segundos; então, foi inserido no programa o valor máximo da variável independente: 10 segundos. Seguem as equações utilizadas para implementação do modelo e os gráficos obtidos nessa etapa nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 – Janela Modelo Matemático do software Modellus:
Implementação do Modelo

Modelo Matemático

$$x_0 = 0$$

$$\frac{dx}{dt} = v$$

$$v_0 = 0$$

$$\frac{dv}{dt} = a$$

$$m = 0.100$$

$$g = 10$$

$$mi = 0.3$$

$$theta = 30$$

$$C = 1$$

$$d = 1.2$$

$$A = 1.6 \times 10^{-3}$$

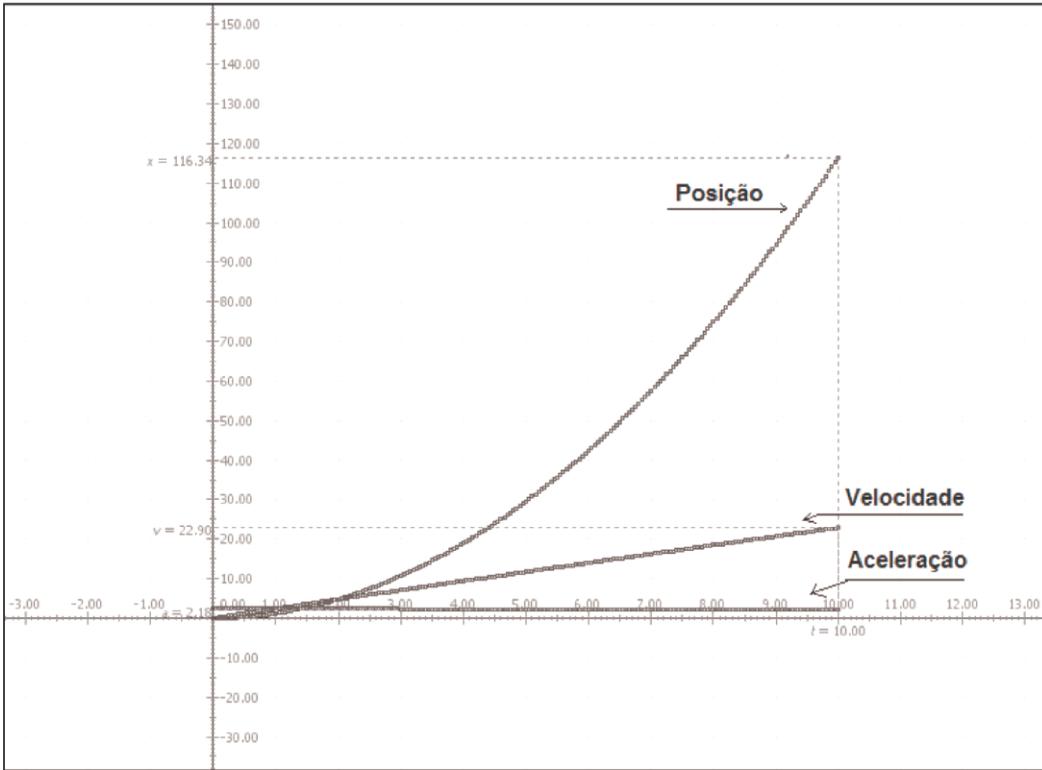
$$b = (0.5) \times C \times d \times A$$

$$a = g \times \sin(theta) - mi \times g \times \cos(theta) - \left(\frac{b}{m} \times v \right)$$

Parâmetros Condições Iniciais

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 – Previsão do modelo para a posição, velocidade e aceleração. Valor máximo do tempo: 10 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

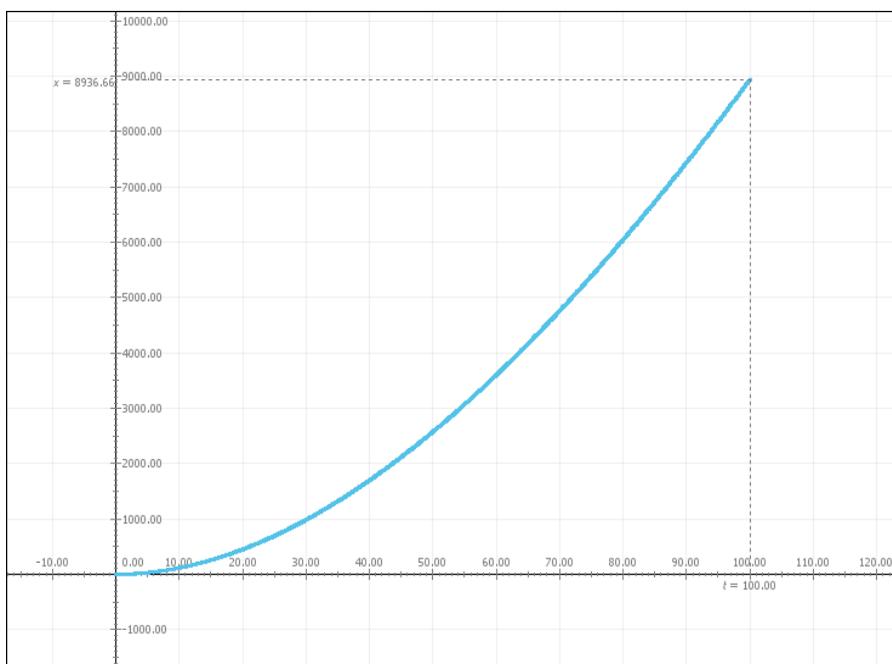
Os alunos puderam perceber que, para a implementação do modelo nas condições acima descritas, os gráficos construídos puderam demonstrar:

- Que a dependência da posição com o tempo gera uma semi-parábola, ou seja, a dependência da posição com o tempo é uma função quadrática;
- Que a velocidade varia aproximadamente linearmente com o tempo;

- Que a aceleração praticamente mantém seu valor inalterado (embora alguns alunos tenham indicado uma pequena redução com o passar do tempo).

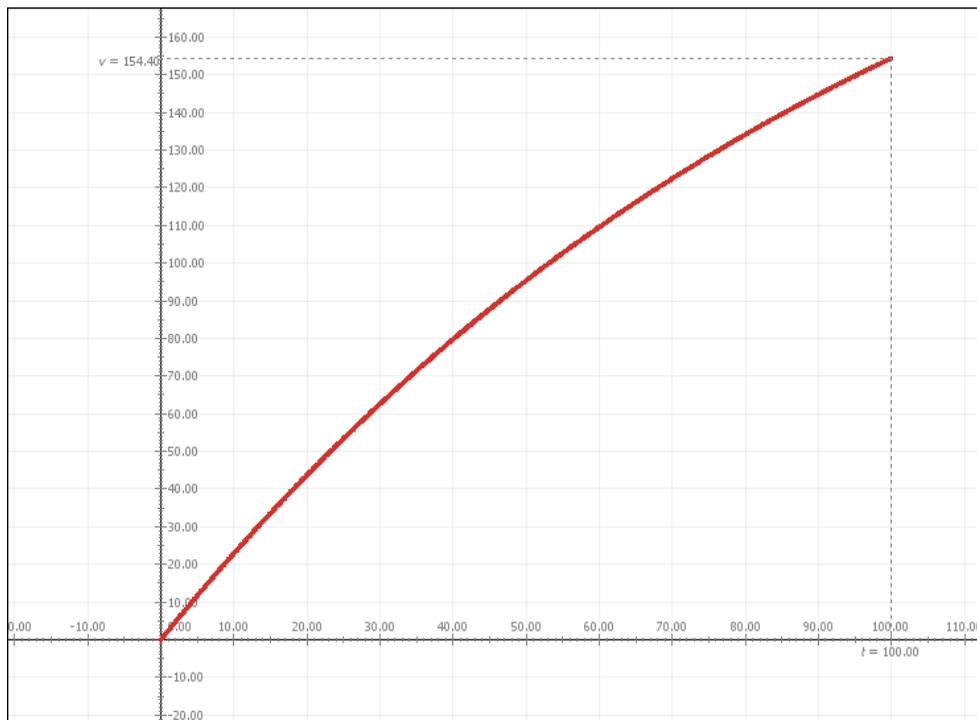
Contudo, uma questão foi lançada aos alunos “será que esse comportamento se mantém após muito tempo?”. Muitos alunos responderam que não, embora não conseguissem explicar porque pensavam dessa maneira. Assim, o tempo máximo do campo da variável independente foi alterado para 100 segundos.

Figura 4 – Previsão do modelo para a posição. Valor máximo do tempo: 100 segundos.



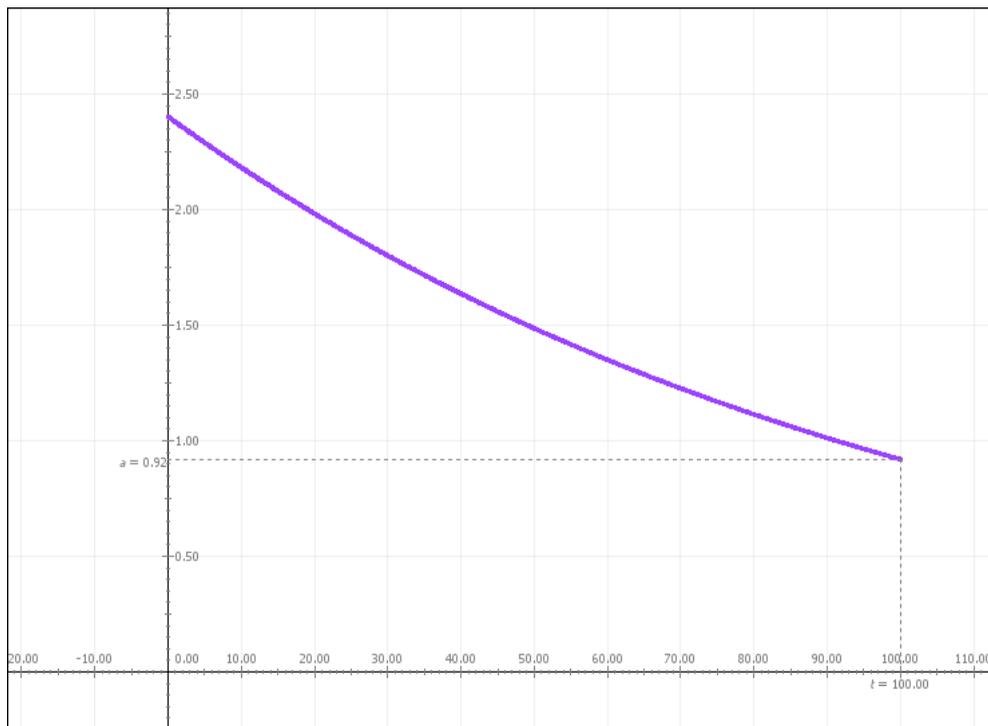
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 – Previsão do modelo para a velocidade. Valor máximo do tempo: 100 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 6 – Previsão do modelo para a aceleração. Valor máximo do tempo: 100 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor

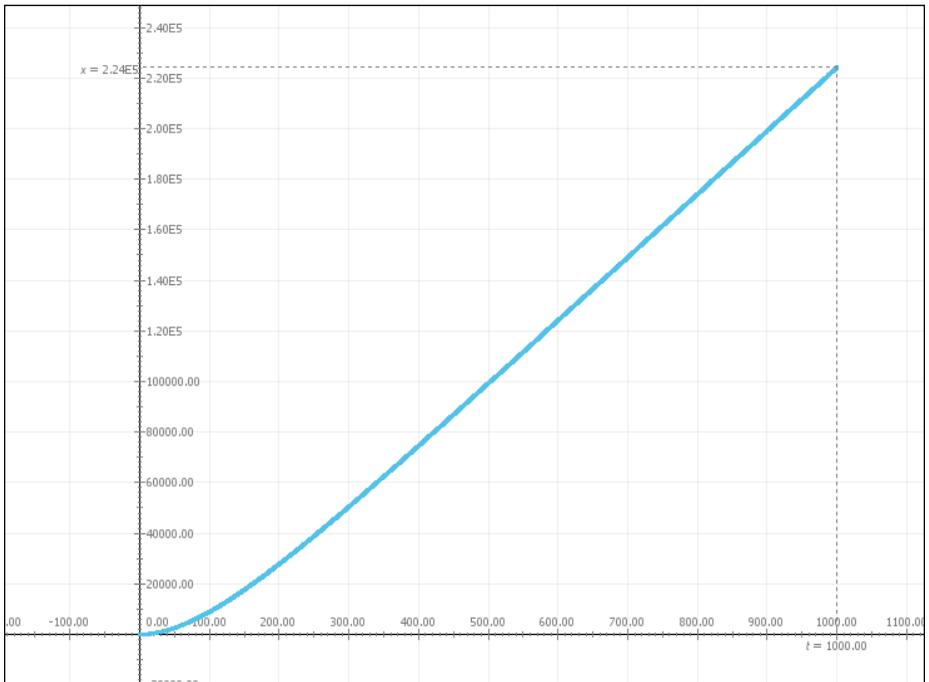
Nesse caso, o programa permite verificar que, segundo o modelo:

- A dependência quadrática da posição em função do tempo após cerca de 40 a 50 segundos passa a ser predominantemente linear (vale ressaltar que essas constatações resultam apenas da observação visual dos gráficos, não foram realizados cálculos à parte para isso);
- A velocidade passar a crescer de maneira cada vez mais “suave” com o passar do tempo, evidenciando convergência para um valor constante;

- A aceleração passa a apresentar um decréscimo com o tempo, chegando ao final de 100 segundos a cerca de 38% do valor inicial.

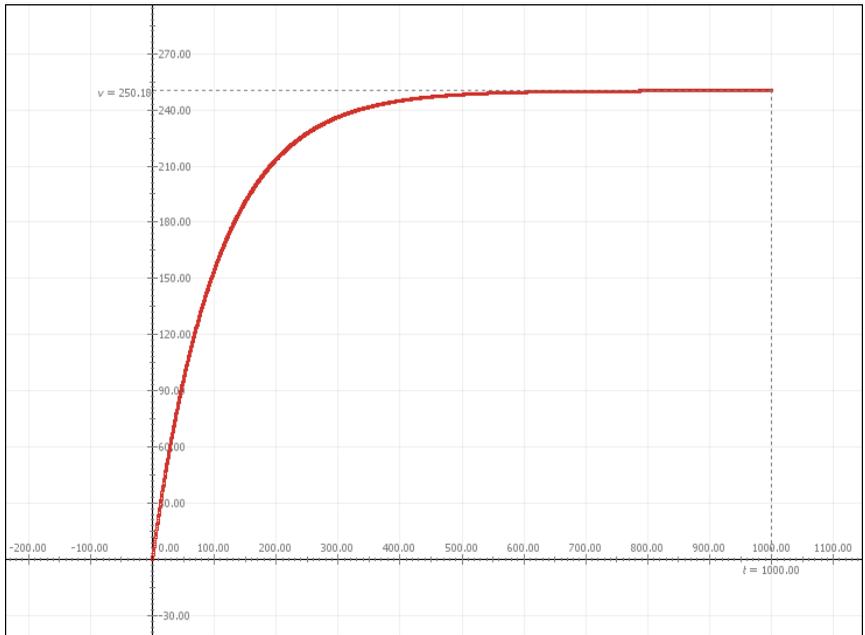
Essa tendência a um valor constante da velocidade indica um comportamento análogo ao da gota de chuva, que foi explorada como exemplo em aulas anteriores: o corpo adquire velocidade terminal e depois passa a executar movimento uniforme. Para verificar se isso é verdadeiro ou não, o tempo limite passou a ser de 1000 segundos.

Figura 7 – Previsão do modelo para a posição. Valor máximo do tempo: 1000 segundos.



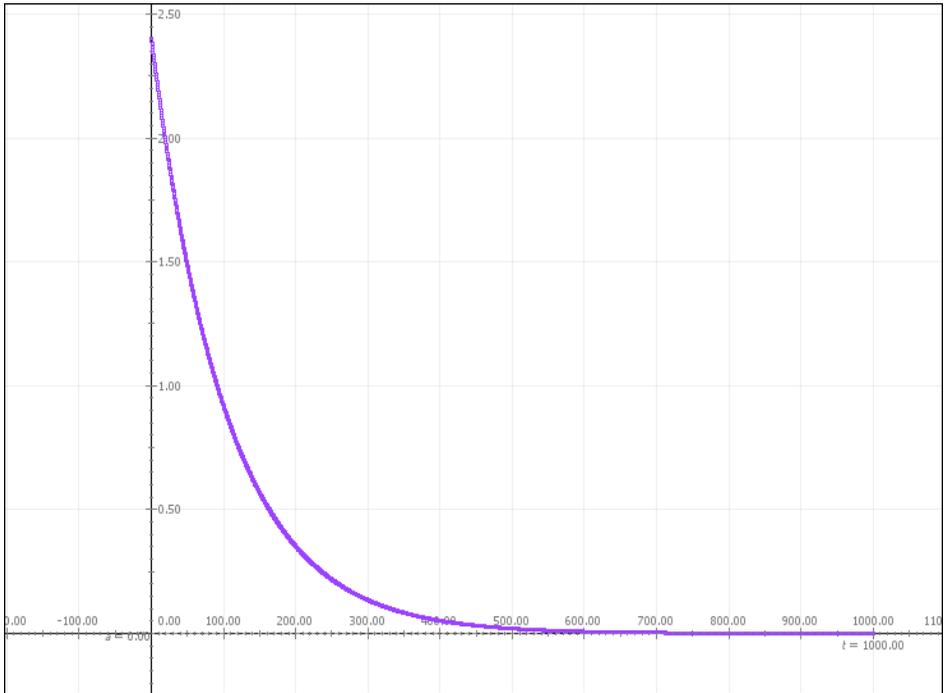
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8 – Previsão do modelo para a velocidade. Valor máximo do tempo: 1000 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 – Previsão do modelo para a aceleração. Valor máximo do tempo: 1000 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor

As constatações foram:

- A dependência linear da posição com o tempo permanece inalterada;
- O objeto alcança velocidade constante (velocidade terminal) por volta de 400 segundos;
- Com aproximadamente 400 segundos o valor da aceleração já está muito próximo de zero, devido ao decaimento de seu valor com o tempo (exponencial).

Assim, foi possível perceber que, de fato, a aceleração num movimento de queda num plano inclinado não é constante, ela decresce com o tempo, devido à influência da força de resistência do ar. O

próximo passo é interpretar esse resultado. É factível pensar num objeto descendo um plano inclinado tempo suficiente para que esses efeitos sejam perceptíveis? Vários alunos perceberam que não. Está fora do contexto de situações ordinárias uma rampa na qual um objeto permanecesse 100 segundos caindo, ou mesmo 1000 segundos, seriam necessários nos dois casos rampas de aproximadamente 8900 e 224000 metros, respectivamente, segundo as considerações do modelo. Logo, para movimentos de queda com dimensões próximas às do ambiente cotidiano, os efeitos da resistência do ar são muito pequenos, praticamente desprezíveis. Os gráficos foram construídos novamente para a situação de 10 segundos, mas dessa vez sem o termo referente à resistência do ar: os resultados numéricos encontrados foram muito próximos dos encontrados na situação anterior. Vale ressaltar que isso é válido para objetos em que o coeficiente de arrasto não tenha um valor muito elevado, como o bloco suposto nessa situação. Para corpos com geometria que favoreça a ação da força de resistência do ar é provável que a influência dessa força seja perceptível e importante mesmo em quedas de pequenas alturas.

O próximo passo foi estender as conclusões para o modelo do movimento no plano inclinado para a queda vertical. Isso é possível ao se atribuir o valor de 90° para o ângulo de inclinação do plano. Um dos pontos imediatamente apontados pelos alunos é que, com o plano na direção vertical, não deveria existir atrito entre a superfície e o objeto. Essa verificação é compatível com o modelo construído. Ao se atribuir essa condição específica, explorando a queda livre como um caso particular, ou seja, uma ramificação do modelo construído, a expressão para a aceleração modifica-se. Como explicado aos alunos, $\text{sen}(90^\circ) = 1$ e $\text{cos}(90^\circ) = 0$, e a relação fica:

$$a = g - \frac{b}{m}v$$

Como se pode perceber, o termo referente ao atrito torna-se nulo. Também é possível entender que, para dimensões próximas às do cotidiano, objetos com o mesmo formato mas massas diferentes apresentam o mesmo tempo de queda, já que a aceleração a que estão submetidos é a mesma. Como visto anteriormente, a influência da resistência do ar na queda, para a maior parte dos objetos, só é considerável em alturas muito elevadas, movimentos com longa distância percorrida. Como esse não é o caso tratado, a força de resistência do ar pode ser desprezada, e os corpos, quaisquer que sejam,

cairão com a aceleração da gravidade. Para verificar se essa aproximação está correta ou não, a massa do bloco foi alterada para 1 kg e novamente o movimento foi representado para os primeiros 10 segundos. O desvio em relação ao valor original foi muito pequeno (para o espaço percorrido, cerca de 1%). Assim, foi possível relacionar as conclusões tiradas na etapa de Ramificação com as hipóteses iniciais do trabalho.

A última ramificação explorada foi a situação em que o bloco permanece parado sobre o plano devido à força de atrito. Foi interessante abordar esse caso já que muitos alunos apresentam a concepção de que quando um corpo está submetido a uma força mas ele permanece em repouso devido à força de atrito, isso acontece pelo fato de a força de atrito ser maior que a força exercida, não igual, em módulo. Substituiu-se na expressão da aceleração as condições $a = 0$ e $v = 0$, além de incluir μ_e no lugar de μ_d , já que na condição de repouso a força de atrito é calculada com base no coeficiente de atrito estático. Nessas condições existe um ângulo limite, ou ângulo crítico θ_c , em que o objeto está na iminência do movimento (para um ângulo um pouco maior, o corpo começa a se mover, já que a componente da força peso responsável pelo movimento supera em módulo a força de atrito máxima). Aplicando essas condições, a equação fornece o seguinte resultado: $\mu_e = tg(\theta_c)$. Para verificar como o modelo implementado através do Modellus representa essa condição, o valor do coeficiente de atrito (0,3) foi substituído pela tangente do ângulo de inclinação (30°) e a posição do objeto não variou (bem como a velocidade e a aceleração, obviamente), ou seja, como previsto através da ramificação do modelo, ele permaneceria em repouso.

4.7 Sexta Semana

Essa parte da aplicação corresponde à oitava etapa da sequência, que trata do estágio de Validação do modelo. Essa foi a etapa mais modificada em relação ao planejado. A ideia principal se manteve a mesma, usar uma atividade experimental para validar as conclusões do modelo. Inicialmente, a intenção era apenas medir os tempos de queda de diferentes objetos num plano inclinado, para verificar que não há variação considerável. Contudo, a modelização computacional permitiu explorar melhor os resultados do modelo. Foi possível, mesmo sem apresentar as equações que relacionam funções de posição, velocidade e aceleração, representar a previsão para a evolução dessas grandezas com o tempo. Assim, uma atividade experimental que permitisse a tomada de

dados experimentais para a comparação com os perfis dos gráficos construídos também serviria para a validação do modelo. E ainda o faria de maneira mais completa, pois permitiria a comparação entre previsões e observações no âmbito de uma relação entre variáveis, o comportamento da distância percorrida em função do tempo, por exemplo, não somente da constatação de uma hipótese, o tempo de queda para objetos de diferente massa ser praticamente o mesmo, como inicialmente planejado.

Assim, foram disponibilizadas para os alunos, agrupados em equipes, calhas de alumínio, com cerca de 90 centímetros (com escalas de medida comprimento), cronômetros, transferidores e uma peça de dominó para cada grupo. A atividade consistia de manter a calha inclinada num ângulo fixo e deixar descer por ela a peça de dominó, medindo o tempo de queda. Deveriam realizar a medição para várias distâncias diferentes, ou seja, o dominó deveria ser liberado de diferentes marcações de posição segundo a escala da calha. Cada grupo fez medidas para quatro posições diferentes (houve exceções, fazendo três ou cinco medidas). Ainda de cada posição escolhida, deveriam realizar o experimento no mínimo três vezes, registrar o tempo para cada queda e calcular a média desse intervalo de tempo, o tempo médio.

Na execução da atividade, não houve grande dificuldade por parte dos alunos. Inicialmente, houve certa confusão com a medição de ângulo através do transferidor, os alunos não sabiam ao certo como realizá-la. Em seguida, foi necessário reexplicar para alguns grupos a questão do cálculo do tempo médio, pois em vez de calcular a média para os tempos correspondentes a uma mesma posição, estavam calculando um tempo médio baseado no conjunto de medidas referentes a diferentes distâncias percorridas. Houve também interrupções nos experimentos para polir melhor as calhas. Os alunos pareceram demonstrar especial atenção à essa experiência, estavam bastante concentrados na tarefa. Alguns questionavam durante a tomada de dados a respeito da diferença entre uma medida e outra, ponderando acerca dos desvios entre os dados, indicando uma postura um pouco mais crítica com relação à experiência. Um ponto interessante a se relatar é o fato que, apesar de se ter discutido na primeira experiência, o teste de hipótese para a queda vertical, que, para minimizar o erro na medida de tempo, a pessoa que solta o objeto deveria ser a mesma que opera o cronômetro, alguns grupos ainda realizavam a tarefa usando uma pessoa para cada operação – indício de que não compreenderam muito bem a justificativa envolvida.

4.8 Sétima Semana

De posse desses dados, os alunos procederam à confecção de um gráfico no papel milimetrado, representando os dados adquiridos (gráfico posição versus tempo). Essa parte foi mais problemática que a própria experiência. Desde o dimensionamento dos eixos no papel, até a definição das escalas usadas e a disposição dos pontos, os alunos tiveram muitas dúvidas. Foram dedicadas aulas à explicação detalhada do processo de elaboração do gráfico, e, mesmo assim, o resultado não foi muito satisfatório. Em alguns trabalhos houve problemas com a disposição dos pontos, noutros, com a escala, ou a “ausência” dela.

O ponto mais alarmante foi o estabelecimento da curva que deveria ser traçada pelos pontos. O objetivo principal dessa atividade era o de evidenciar experimentalmente a dependência entre a distância percorrida (ou posição do objeto) com o tempo (instante do movimento de queda em que o corpo ocupa aquela posição) e compará-lo com o comportamento previsto pelo modelo, que havia sido representado através do Modellus. Assim, na região próxima aos pontos experimentais do gráfico, a linha ser traçada, uma “linha de tendência”, deveria ser algo semelhante ao mostrado no modelo computacional – pelo menos, em princípio. Se o que se busca é validar o resultado do modelo, então a concordância entre a curva descrita pela função matemática e a curva descrita pelos resultados experimentais deve ser testada. Em caso de haver razoável concordância, há o indicativo de aplicabilidade do modelo; no caso de grande discrepância, há de se realizar considerações acerca do experimento que pode não produzir situação adequada ao teste do modelo, ou acerca do próprio modelo, o envolve revisitar desde as premissas até a formulação matemática do modelo. Contudo, para realizar essa comparação é necessário que, de fato, haja uma curva experimental, desenhada a partir dos pontos do gráfico, e o que se verificou é que os alunos tinham ideias variadas acerca de como fazer isso. Alguns apenas representaram os pontos, outros ligaram os pontos a partir de segmentos de retas, há os que traçaram uma única reta e ainda os que desenharam uma curva sinuosa, distinta do esperado, uma semi-parábola. Apesar de em alguns grupos a disposição dos dados no gráfico não evidenciar mesmo a “tendência” a uma curva semi-parabólica, na maior parte das equipes, isso era possível – contudo, eles não optaram por representar esse tipo de curva. Interessante é que essa questão foi abordada durante a explicação acerca da confecção dos gráficos, mas, aparentemente, os alunos não estavam atentos a isso. No momento de desenhar alguma curva, fizeram escolhas

que não remetiam ao comportamento mostrado no modelo computacional. É uma evidência de que, da maneira que foi realizada, essa atividade não propiciou conexão entre experimento e modelização computacional, já que os alunos não entenderam a representação dos dados experimentais num gráfico como uma maneira de validar o gráfico previsto no programa.

4.9 Oitava Semana

Para concluir o trabalho, foi realizada uma discussão a respeito dos estudos desenvolvidos. Os quatro estágios de modelização foram retomados e relacionados com as atividades realizadas na sequência. Alguns alunos foram capazes de apontar as principais conclusões a que chegaram com o modelo, embora não detalhadamente, remetendo principalmente à questão de se objetos com massas diferentes caem da mesma altura no mesmo intervalo de tempo ou em tempos distintos. Quando inquiridos sobre as limitações do modelo, foram capazes de apontar para o fato de que esse modelo representa objetos que descem o plano deslizando, mas não rolando. Interessante, porque esse foi um ponto não muito explorado. Ao longo da sequência, nos momentos em que foi utilizada uma calha para demonstração (etapas de Descrição e Formulação do modelo), o objeto utilizado era uma pequena esfera de vidro, enquanto que o objeto desenhado na lousa, a representação do modelo, era um bloco. Isso chamou a atenção de alguns alunos. Também outros alunos indicaram que esse modelo apenas representa objetos que estejam descendo o plano, nunca subindo. Pareciam compreender que um movimento na direção contrária necessitaria da presença de outras forças, o que acarretaria modificações no modelo – não em suas premissas, mas na etapa de Formulação outras relações deveriam ser incluídas à aplicação da segunda lei de Newton. Na verdade, esse modelo também permitira explorar um movimento de subida, desde que o objeto já possuísse velocidade inicial nesse sentido. Outras simplificações foram levantadas pelo professor, como o fato de as dimensões do objeto serem muito pequenas em relação ao trajeto percorrido (o que já havia sido mencionado na etapa de Formulação, mas os alunos não recordaram) e também que o atrito no plano foi considerado homogêneo, uniforme, o que visivelmente não era, algo apontado pelos próprios alunos durante a realização do experimento. Os alunos não participaram muito dessa discussão, foi necessário que o professor levantasse as questões, ao que os alunos respondiam com sentenças curtas.

Findada essa conversa, chegou o momento de apresentar aos alunos sua avaliação (as questões descritas a serem respondidas, presentes no ANEXO I). A perspectiva de finalmente realizar uma atividade que “valesse nota de prova” fez com que ficassem imediatamente mais atentos e mais participativos também. Vale ressaltar que alguns alunos, no decorrer da aplicação da sequência, perguntavam se iriam “fazer prova” sobre o assunto, ao que lhes era respondido que iriam, de fato, ser avaliados, mas que ainda não havia sido decidido de que maneira. Pôde-se perceber que os alunos perguntaram até parecerem satisfeitos quanto ao entendimento de o que fazer na avaliação, mas somente as questões levantadas nessa aula não foram suficientes para isso, como se verificou posteriormente. No decorrer dessa semana, em outros momentos, entre eles a aula de monitoria, vários alunos pediram ajuda para responder à avaliação. Quando perguntavam a respeito das questões, a maior parte deles direcionava sua atenção para as etapas do processo de modelização. Aparentemente, os alunos acreditavam ser muito importante na avaliação definir corretamente essas etapas.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste trabalho será realizada uma reflexão acerca da aplicação da sequência, com base nos registros da experiência em sala de aula, e uma análise qualitativa das respostas dos alunos à Questão 1 do Instrumento de Avaliação (presente no ANEXO I). Limitou-se à escolha somente dessa questão devido ao tempo disponível para realização da apreciação dos resultados obtidos.

Como se pode perceber no enunciado da Questão 1, os alunos são orientados em sua produção textual, um resumo das atividades desenvolvidas, com algumas perguntas referentes ao processo de modelização trabalhado ao longo das aulas. Como não houve restrição com relação a quais nem quantas dessas perguntas deveriam ser contempladas, a avaliação concedia aos alunos a liberdade de abordarem os aspectos que considerassem mais relevantes, dentro da proposta do tema. Como esse trabalho possui caráter exploratório, sem apontar questões específicas a serem pesquisadas através desse Instrumento, essa liberdade é uma característica importante, pois permite verificar, dentre tudo aquilo que foi abordado em sala, os pontos que mais chamaram a atenção dos alunos e as principais concepções construídas a respeito da modelização. Em outras palavras, a análise dessa questão serve mais ao objetivo de indicar novas questões de investigação referentes ao uso de modelos em sala de aula que responder a qualquer outro questionamento particular.

Entretanto, de modo a poder posteriormente estabelecer critérios de avaliação para os textos, foi criado um modelo de resposta para a questão (ANEXO II). Esse modelo constitui-se num padrão para uma resposta que considerasse todos os aspectos presentes no enunciado. Não espera-se que os alunos sejam capazes de produzir um texto semelhante, contudo, quanto mais próximo deste padrão a resposta apresentada se aproximar, mais próximas as ideias reveladas estariam das objetivadas com a sequência.

Obteve-se um total de 31 avaliações nas duas turmas, das quais apenas uma não será computada. Essa, em particular, constitui-se na reprodução da gravação da fala do professor durante uma aula de monitoria, destinada a tratar das dúvidas dos alunos com relação à avaliação. Como não apresenta nenhuma ideia original da pessoa responsável pela avaliação no texto, apenas a transcrição literal da fala do professor, essa resposta não faz parte do grupo analisado – composto, então, de 30 respostas. À partir da leitura de todas, foi possível estabelecer algumas categorias de aspectos comuns presentes nas

respostas, estruturadas em quatro tópicos: questão/objeto de estudo, hipóteses, experimentos, Modellus e Modelo. Cada um desses tópicos constitui-se num foco de análise das respostas – por exemplo, em “Modelo”, categorizam-se as respostas quanto às ideias apresentadas com relação ao modelo, de maneira geral, e ao modelo construído no decurso das aulas. Aparecerão nessa seção de análise dos resultados à medida que forem requisitados para as reflexões acerca do planejamento e aplicação da sequência.

Dentre as respostas analisadas, 27 (93,3%) destacaram como questão inicial do trabalho “*Como as coisas caem?*”, indicando que a maior parte dos alunos identificou o trabalho realizado como sendo motivado por uma questão, uma pergunta a ser respondida – o que pode ser interpretado como uma problematização bem-sucedida, a princípio. Ainda houve, dentre esses alunos, aqueles capazes de identificar uma mudança de questão, uma nova pergunta: “*Como as coisas caem no plano inclinado?*”. A respeito do motivo para a alteração de questão, a mudança do objeto de estudo (da queda vertical para a queda no plano inclinado), 11 alunos (36,7% do total) não explicaram-no de maneira consistente ou nem esboçaram alguma justificativa, apenas apresentaram essa nova questão no texto. Somente 2 (6,67% do total) conseguiram identificar o novo foco de estudo discutindo a limitação presente no experimento de teste da queda vertical, que, na sequência, é a justificativa para a introdução do plano inclinado. Alguns, ao colocarem essas duas questões em seus textos, estabelecem alguma relação entre os fenômenos: 5 alunos (16,7% do total) conseguem evidenciar uma conexão entre os dois tipos de queda. Já para 3 estudantes (10% do total), a questão principal de estudo permaneceu inalterada durante o trabalho, como se as diferentes perguntas fossem apenas variações de uma fundamental.

O que se pode inferir desses resultados é que a maior parte dos alunos não conseguiu remeter a um ponto importante da sequência: a identificação da limitação do método de medição de tempo para a queda vertical. O fato de que usar um experimentador manuseando um cronômetro não fornece dados válidos (precisos) foi o ponto de partida para a procura de um experimento alternativo para o estudo de um movimento de queda mais “lento”: esse foi o momento de introdução do plano inclinado. Aparentemente, os alunos não se lembraram, não se detiveram a esse detalhe ou não compreenderam essa questão. Desse modo, a ideia de elaboração de um modelo para o plano inclinado pode lhes parecer “artificial”, “forçada”, algo imposto pelo professor – o que, definitivamente, não é o objetivo da proposta. Assim, uma nova

aplicação da sequência deveria destacar esse momento como crítico, propondo alternativas que levassem os alunos a refletir mais a respeito dessa passagem. Talvez, fosse mais interessante orientar os alunos numa pesquisa a esse “experimento alternativo”, dedicando mais tempo a essa etapa, de modo que o plano inclinado surgiria como uma sugestão da própria turma.

Além disso, a quantidade daqueles que identificaram alguma ligação entre as duas questões, ou que reconhecem-nas como variação de uma mesma pergunta, ainda não é satisfatório. Essa conexão entre os movimentos de queda (vertical e inclinado) como fenômenos da mesma natureza, que possuem apenas alguns aspectos distintos, deve ficar mais clara para os alunos. Um momento que pode propiciar isso é a sétima etapa, a referente à Ramificação do modelo. A compreensão de que a queda vertical pode ser entendida como um caso particular do modelo (ângulo de inclinação de 90°) pode propiciar essa conexão, ausente na maior parte das respostas. Dedicar mais tempo a essa etapa, frisando essa ramificação do modelo e explicitando o raciocínio “cíclico” de que a estudar a queda vertical gerou uma reflexão que conduziu ao plano inclinado, cujo modelo fornece resultados para o fenômeno inicial, muito provavelmente teria impacto nas ideias dos alunos, que poderiam compreender melhor a ligação entre os fenômenos e a “lógica” da sequência.

Na primeira etapa, na dinâmica de levantamento de hipóteses, os alunos se mostraram muito participativos. Foram expostas muito mais ideias que o esperado, algumas contraditórias, o que gerou bastante discussão entre os alunos. Dada a participação ativa dos alunos nesse momento, esperava-se que alguma apreciação à essa atividade estivesse presente em suas respostas – o que se mostrou verdadeiro. Dos 30 trabalhos, 23 (76,7%) citavam o levantamento de hipóteses com relação ao movimento de queda; 11 (36,7% do total), além de citar, continham exemplos das hipóteses apontadas. A proposição de testes para verificar a validade das hipóteses foi apontada por 13 alunos (43,3% do total), e ainda 4 estudantes (13,3%), em algum momento no texto, comentam acerca da importância das hipóteses para o trabalho dos cientistas, ou seja, o papel da hipótese no contexto da investigação científica. Esse momento da sequência mostrou-se muito mais produtivo que o previsto; o fato de o discurso dos próprios alunos ser predominante, ou seja, de a aula ter sido planejada de modo a valorizar as suas falas, pode servir como um elemento de aumento de motivação para o trabalho. Tradicionalmente, o discurso do professor é privilegiado, enquanto o dos alunos é relegado à, na maior parte das vezes, mera verificação de

ideias – conferir se a turma está compreendendo o que o professor está expondo ou não. Nessa sequência, à partir de apenas uma pergunta lançada pelo professor, a investigação com relação ao tema se deu baseada em ideias levantadas pelos próprios alunos, tornando explícita a importância de suas ideias para a construção do conhecimento. Essa mudança de postura instiga mais os alunos a reflexão, torna-os mais atentos e participativos, além de aguçar a curiosidade e criatividade, à medida que a proposição dos experimentos para verificação de hipóteses vai sendo realizada por eles mesmos.

Todavia, apesar de terem considerado parte importante da sequência o levantamento de hipóteses, os alunos, em sua maioria, não indicaram a importância desse momento no contexto da modelização realizada, ou seja, essa etapa aparece dissociada da construção do modelo. Apenas 5 alunos (16,7%) esboçaram em seus textos alguma relação entre as hipóteses e o processo de modelização. Incluir de maneira explícita esse procedimento em algum dos estágios do processo de modelização, a etapa de Descrição, nomeadamente, seria uma alternativa. Conforme será apresentado adiante, os alunos atribuíram importância à definição de cada uma das etapas do processo (Descrição, Formulação, Ramificação e Validação). Desse modo, propõe-se que momentos da sequência que não tenham sido entendidos como parte do processo de modelização sejam incorporados explicitamente em alguma dessas etapas.

A realização de experimentos também promoveu a participação ativa dos alunos. Em geral, as equipes agiram de maneira organizada e independente, solicitando a supervisão do professor quando necessário. Houve 16 avaliações (53,3%) citando a realização do experimento de teste da hipótese inicial (verificação do tempo de queda de diferentes objetos verticalmente); para o experimento envolvendo o plano inclinado, foram 15 citações (50%). Apesar da importância atribuída pelos alunos às experiências realizadas, em suas avaliações a maior parte se limitou a apenas citar a execução e, quando muito, descrever como foi realizado o experimento. Em poucos casos houve o registro de alguma conclusão que tenham alcançado à partir do resultado do experimento, ou mesmo um comentário sobre seu papel no processo de modelização. Foram verificadas 10 avaliações (33,3%) em que o experimento de queda vertical tem seu procedimento descrito, 5 (16,7%) para o do plano inclinado, sendo que em apenas 4 (13,3% do total) há alguma discussão dos resultados de uma dessas experiências, demonstrando que o aluno conseguiu concluir algo com a atividade. Isso não significa que as atividades experimentais não cumpriram seu

propósito, vale ressaltar que não era obrigatório na avaliação cada aluno discutir seus resultados. Entretanto, uma próxima aplicação da sequência deveria instigar mais os alunos a refletir acerca dos resultados experimentais. Essas atividades devem ser melhor planejadas, de modo a propiciarem uma maior reflexão individual, discussão em equipe e debate no grande grupo. É possível que, ao solicitar a escrita de algum resumo durante e/ou imediatamente após a execução da experiência, orientando-os a incluir nesse texto conclusões acerca dos resultados experimentais, esses aspectos sejam favorecidos. Responder um questionário também é uma alternativa, mas deve-se tomar cuidado para não transformar esse material num “roteiro tradicional”, algo que foi evitado em toda a sequência para estimular a investigação dos alunos.

O experimento de exploração da força de atrito, envolvendo os dinamômetros, não foi citado por nenhum aluno. Aparentemente, não foi considerado relevante pela turma para ser incluído na avaliação. É provável que essa atividade tenha sido entendida como pertencente a um contexto alheio à modelização, ou seja, como se tivesse sido planejada à parte da sequência. Como foi utilizado um trabalho anterior ao início da sequência, a confecção dos próprios dinamômetros pelos alunos, conjectura-se que essa atividade experimental tenha sido entendida como um seguimento desse trabalho, interrompido pelo início da sequência de modelização. Devido às limitações dos dinamômetros utilizados, foi necessário investir mais tempo da atividade discutindo o funcionamento do equipamento e a tomada de medidas que a própria natureza da força de atrito, corroborando a possível ideia de que o foco da dinâmica seria investigar o uso do próprio dinamômetro. Além disso, apesar de os alunos terem reconhecido a força de atrito como sendo um elemento presente no tratamento do movimento no plano inclinado, é possível que o modelo não tenha sido relacionado aos testes utilizando o dinamômetro, já que estes foram realizados sobre superfícies horizontais. Embora a natureza da força seja a mesma, é válida a hipótese de que a relação não foi favorecida pelo fato de que em cada sistema ela se configura de maneira diferente. Logo, se de fato fosse incluída alguma atividade de investigação da força de atrito na sequência, seria mais viável que esta acontecesse envolvendo o próprio plano inclinado; possivelmente até utilizando os dinamômetros, mas dessa vez medindo a força existente entre os corpos de prova, nesse caso, as peças de dominó, e a superfície utilizada calhas de alumínio.

Entretanto, a presença ou ausência desse momento na sequência não parece criar grande impacto na modelização do fenômeno. Apesar de também estar relacionada à criação de uma representação, já que o

que se almeja é identificar uma relação matemática para a força de atrito, ou pelo menos, a verificação dos parâmetros envolvidos, é coerente pensar também que esta expressão poderia ser apresentada pelo professor, assim como a equação para a força peso ou para a força de resistência do ar, sem grande prejuízo para o processo de modelização. Desse modo, a investigação experimental da força de atrito pode ser encarada como parte importante da sequência, mas não fundamental. Além disso, outras maneiras de aplicá-la devem ser testadas, pois o que se percebeu nesse trabalho é que o arranjo empregado não proporcionou articulação dessa atividade com o restante da sequência.

O uso do Modellus é citado em 10 trabalhos (33,3%). Ao se referirem à geração de gráficos pelo programa, 4 alunos (13,3% do total) fizeram certa confusão entre a curva apresentada e os dados experimentais, como se o gráfico criado fosse resultado de medidas de um experimento, não de um modelo matemático implementado. Além disso, apenas 5 estudantes (16,7%) comentaram a confecção dos gráficos em papel milimetrado. Desse modo, além do uso do Modellus não ter aparecido nas avaliações com a relevância esperada, os alunos, em geral, não conseguiram discernir corretamente seu papel na modelização. Para verificar se os alunos conseguem reconhecer as diferenças entre o gráfico experimental e o gerado pelo Modellus, seria necessário um instrumento com uma questão direcionada, objetivando revelar essas ideias. Entretanto, a avaliação aplicada permitiu verificar que os alunos não conseguiram evidenciar essa distinção nem perceber a importância e objetivo de cada atividade, computacional e experimental, no processo de construção do modelo – algumas avaliações mostram isso.

A sugestão para aumentar a relevância da modelização computacional para os alunos é, além de esclarecer o papel do modelo implementado e evidenciar as diferenças entre a curva criada pelo programa e a gerada através de dados experimentais, reformular o uso do Modellus na sequência. Em primeiro lugar, proporcionar a manipulação do programa pelos próprios estudantes. Assim, em vez de o professor utilizá-lo, expondo os resultados através de um datashow, como foi realizado, a turma seria dividida em pequenas equipes que, com um computador cada, fariam a implementação do modelo no programa, sob a supervisão do professor. Essa dinâmica permitiria aos alunos investigar o modelo, expondo seus principais resultados e suas limitações, explorando as variadas formas de representação possíveis. É possível também que o modelo matemático adquira uma importância maior e tenha significado mais claro, à medida que os alunos forem

manipulando as expressões implementadas no programa e verificando o resultado dessas alterações na previsão do modelo. Esse tipo de abordagem demanda mais tempo, pois o professor precisa prepará-los para o uso do programa previamente e acompanhar o trabalho de cada grupo durante a dinâmica.

Também não se faria mais necessária a confecção dos gráficos no papel milimetrado pelos alunos; os pontos adquiridos experimentalmente podem ser dispostos num gráfico através do próprio Modellus ou de outro recurso computacional. Assim, gerar ambas as curvas, a experimental e a prevista pelo modelo, por intermédio do mesmo recurso pode fazer com que percebam mais facilmente a diferença entre as duas, principalmente no que se refere ao método de introdução dos dados. A atividade de elaboração do gráfico com papel milimetrado foi proposta para permitir aos alunos explorar o uso de mais de uma maneira de representar os dados referentes ao fenômeno modelizado. Contudo, pelos resultados obtidos com este trabalho, verificou-se que a execução dessa tarefa foi difícil e confusa para os alunos e, ao final, não foi considerada relevante. Sugere-se, na primeira aplicação de uma proposta de modelização, o uso do computador para a geração dos gráficos, para posteriormente, ao abordar outro fenômeno e os alunos já estiverem mais acostumados a esse tipo de representação, proceder à utilização do papel milimetrado.

As menções que os alunos fizeram ao modelo também foram analisadas. Apenas 3 alunos (10%) não citaram em suas avaliações o uso ou construção de um modelo. Em 16 avaliações (53,3%) há elementos nas respostas que justificam enquadrar a concepção do modelo como uma representação. Embora não seja possível averiguar o quanto desenvolvida é essa concepção, tendo em vista que a questão não foi elaborada para investigar esse aspecto especificamente, é possível afirmar que, pelo menos essa parcela dos alunos terminou a sequência com a ideia de um modelo físico como uma representação, algo mais próximo da visão científica que da aceção cotidiana do termo. Algumas concepções equivocadas também puderam ser evidenciadas. Em 4 respostas (13,3%) o modelo aparece como um aparato físico, material. Em outras palavras, esses alunos confundiram o modelo do plano inclinado com o próprio plano inclinado – as calhas e demais materiais utilizados nas demonstrações e experimentos. Pode-se conjecturar à respeito do desenvolvimento da capacidade de abstração desses indivíduos: é possível que ainda necessitem basear seu conhecimento a respeito desse objeto de estudo, o plano inclinado, em

algo concreto, enquanto a maioria já é capaz de lidar com a abstração, a ideia de um modelo conceitual para o fenômeno.

Outra concepção presente nos trabalhos, 5 deles (16,7%), é a de que o modelo é uma ferramenta para validação de uma hipótese ou teoria, sendo que geralmente é possível perceber que os alunos utilizam esses termos como sinônimos. Apesar de o levantamento e validação de hipóteses ser fundamental para construção do modelo, o processo não se resume apenas a isso. O objetivo da modelização não é meramente comprovar a hipótese, mas construir uma representação, composta por elementos conceituais e matemáticos, com poder descritivo, preditivo, heurístico. Assim, pode-se verificar que, apesar de esses alunos estabelecerem uma relação entre hipótese e modelo, eles construíram uma ideia inesperada a respeito da modelização: a de que a finalidade desse processo é a comprovação de hipóteses. Como indicado anteriormente, vincular melhor a primeira etapa da sequência à realização dos quatro estágios de modelização pode ser uma alternativa para situar melhor esse momento no processo de modelização, deixando mais claro seu objetivo e sua importância.

Quanto às etapas em que o processo de modelização foi estruturado (Descrição, Formulação, Ramificação e Validação), em 16 trabalhos (53,3% do total) elas aparecem elencadas, sendo que em 14 destes (87,5% dessa parcela), os alunos procuram definir cada estágio. Significa que um aspecto considerado relevante pelos alunos foi a estruturação do processo, a categorização de cada uma das atividades que explicitamente fizeram parte do processo de modelização. Após as aulas, em alguns momentos em que procuravam tirar dúvidas, perguntavam muito a respeito das definições de cada etapa (“o que é a Descrição?”, “o que faz parte da Formulação?”, etc.). Essa preocupação com as definições se refletiu na maior parte das avaliações, seja quanto às etapas de modelização (muito evidente), quanto à hipótese (alguns alunos definiram o que é hipótese), ou mesmo com relação às leis de Newton (vários se preocuparam em enunciá-las). Desse modo, fica evidente a influência da “cultura escolar” nesse trabalho; uma cultura própria do ensino tradicional, em que os alunos serão avaliados quanto ao que conseguem reproduzir das definições e algoritmos expostos pelo professor. Mesmo reconhecendo a sequência como uma abordagem diferenciada, alguns alunos inclusive elogiaram as atividades desenvolvidas, e se envolvendo ativamente com as atividades, quando chegou o momento da avaliação, os alunos voltaram à prática tradicional – à maneira consagrada de responder as questões com “aquilo que o professor quer ouvir”. Nesse caso, apresentaram a forte

tendência de elencar, enunciar e definir os aspectos da modelização – por suporem que seria quanto à isso que seriam avaliados – e deixaram em segundo plano as relações que deveriam estabelecer entre as atividades desenvolvidas e a construção do modelo, ou seja, indicar o significado dos momentos da sequência nesse processo. Assim, deve-se de algum modo garantir que os alunos compreendam que uma sequência de atividades “não-convencional” será avaliada de maneira diferenciada. Um comentário mais detalhado em sala de aula ou uma reformulação do enunciado da questão da avaliação talvez não sejam suficientes, afinal, trata-se de uma cultura escolar em que os alunos não deixam de estar inseridos, mas provavelmente poderão tornar mais explícita a liberdade que os alunos têm para a reflexão – em lugar da definição – ao responder.

Em algumas respostas foi possível verificar o momento em que os alunos identificam o início da construção do modelo, ou seja, cronologicamente, quando na aplicação da sequência passou-se a tratar explicitamente a modelização, no entendimento dos alunos. Conforme abordado na seção de Descrição das Aulas, explicitou-se a construção do modelo com os alunos à partir do momento em que o foco do estudo passou a ser o plano inclinado. Somente após a introdução do plano inclinado, que se deu por uma limitação no estudo experimental da queda vertical, é que se passou a introduzir os conceitos referentes à modelização. Contudo, enquanto 6 alunos (20% do total) foram capazes de identificar o início da modelização nesse momento, outros 7 estudantes (23,3%) referem-se ao modelo com estando presente desde o início da sequência – como se a intenção desde o início do estudo fosse construir um modelo para o fenômeno da queda. Esse tipo de confusão pode ser justificado pela ausência de registros das aulas que os alunos dispusessem para auxiliá-los ao responder à questão. Percebeu-se que durante as aulas participavam muito da discussão, mas anotavam pouco do que foi abordado na aula no caderno. Desse modo, ao responder à avaliação, dispunham somente do que se lembravam no momento, o que pode levar a alguma confusão.

Por fim, vale ressaltar que em 10 avaliações (33,3%) apareceram elementos no texto que denotam algum aumento na motivação dos alunos para com o estudo da física. Por vezes fazem referência a algum momento específico, que lhes pareceu muito interessante, em algumas a referência parece ser feita para o trabalho como um todo, há ainda os que compararam a abordagem tradicional com a empregada, demonstrando preferência pela última. Com base nessas verificações, pode-se afirmar que a modelização tem potencial

para propiciar o planejamento de momentos e dinâmicas que contribuam para o aumento de motivação dos alunos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao comparar a as competências contempladas nos PCN destacadas na Introdução do trabalho com o planejamento e aplicação da sequência, pode-se afirmar que a modelização propiciou a abordagem de cada uma delas, inclusive em mais de um momento. Tendo como estruturador principal a construção do modelo do plano inclinado, os alunos tiveram oportunidade de explorar diversas formas de representação, utilizando-se da linguagem física e das relações matemáticas pertinentes, ponderando acerca das simplificações realizadas, aprimorando seu discurso e argumentação, propondo experimentos e situações de investigação, enfim: puderam desenvolver sua compreensão física através da modelização. Esse potencial para criar momentos de aprendizagem ativa, com base em habilidades cognitivas que relacionem conhecimento factual e processual da ciência, é algo não perceptível no ensino tradicional, mas que pode ser proporcionado através da modelização, de acordo com as verificações desse trabalho.

Algumas dificuldades foram encontradas. Em primeiro lugar, há o ineditismo da proposta – não ineditismo para a literatura, mas para o pesquisador, professor e alunos. Isso se reflete desde o planejamento até a execução das aulas. Durante o planejamento, foi problemático encontrar materiais didáticos em que o professor pudesse basear seu trabalho. A dificuldade surge inicialmente na ordem dos conteúdos, já que a maior parte dos livros didáticos assume o ensino da cinemática como pré-requisito para o tratamento da dinâmica. Mesmo o material escolhido para apoio (FILHO e TOSCANO, 2002) não compreendeu as necessidades do trabalho, por estar estruturado para o tratamento tradicional dos conteúdos. Para o que se buscou, o desenvolvimento de um modelo para um fenômeno físico, praticamente não se encontrou subsídios nem nesse livro, nem nos usualmente utilizados, pelo fato de a perspectiva predominante ainda priorizar a exposição de princípios teóricos e sua aplicação em problemas, muitas vezes abstratos e descontextualizados. Nesse aspecto, a dificuldade encontrada está muito próxima da constatação de Hestenes (1987): a abordagem nos livros didáticos do conhecimento científico factual é inconsistente, e para o conhecimento processual, praticamente ausente. Para o professor que se aventurar ao desenvolvimento de atividades de modelização, como as elaboradas nesse trabalho, sugere-se a adaptação das metodologias atualmente presentes nos materiais utilizados para o novo contexto, com base em estratégias de construção de modelos, como a proposta por

Hestenes. Por outro lado, deve-se também incentivar a contraparte dos produtores de conteúdo, que abrange desde os próprios professores até os pesquisadores envolvidos, a elaborar mais material adequado para essa perspectiva.

Também este ineditismo fez-se sentir em sala de aula. Inicialmente, os estudantes se mostraram bastante abertos à proposta, mas à medida que as atividades envolviam situações consideradas complexas, começou a se perceber um afastamento dos alunos. A principal constatação desse fato se deu na confecção dos gráficos no papel milimetrado, considerada em aula pelos alunos muito difícil. Contudo, é compreensível que apareçam essas dificuldades em atividades executadas pelos alunos pela primeira vez. Como a modelização proporciona momentos que a abordagem tradicional geralmente não prioriza, provavelmente esse tipo de dificuldade surgirá mais de uma vez, já que é o primeiro contato dos estudantes com tais tarefas. O que não se pode deixar é que os alunos se desmotivem pela dificuldade encontrada, ou mesmo que o professor deixe de planejar aulas envolvendo esse momentos. Recomenda-se justamente o oposto: quanto mais sequências de modelização forem trabalhadas com alunos, mais as habilidades de representação serão incorporadas às aulas e desenvolvidas pelos alunos, facilitando a compreensão dessas tarefas inicialmente consideradas difíceis pelo acúmulo de experiência.

Outra dificuldade verificada diz respeito à avaliação dos estudantes. Primeiramente, é difícil para o professor planejar uma avaliação para uma sequência trabalhada nessa perspectiva. Usualmente, são utilizadas provas escritas para a avaliação do aprendizado dos alunos, mas essa alternativa não se aplica nesse caso. Optou-se por um questionário, mas composto de apenas duas questões, algo nada ortodoxo. Entretanto, com uma questão buscou-se promover a síntese do trabalho realizado, e com a outra, a aplicação dos conhecimentos adquiridos em outra situação. Ainda há muito a se investigar a respeito das alternativas de avaliação a serem utilizadas com essa abordagem.

Ainda com relação à avaliação, após planejada, o problema surge quando da sua execução por parte dos estudantes. Mesmo tendo eles participado ativamente das aulas e apoiado a ideia da proposta, no momento de escrever a respeito, eles assumem uma postura tradicional, como verificado na Análise dos Resultados. É difícil verificar até que ponto os alunos conseguiram chegar com suas reflexões acerca dos modelos, e que relação estabelecem entre as várias atividades desenvolvidas, quando eles se resumem a definir as etapas da execução do processo ou a enunciar os princípios teóricos envolvidos, nesse caso,

as Leis de Newton. Trata-se de uma “cultura escolar” atrelada ao ensino tradicional da qual é praticamente impossível se desvincular, especialmente no momento da avaliação, porque é nessa ocasião “que vale nota”. Essa concepção de que há uma única resposta correta é tão marcante que um aluno, ao responder sua avaliação, meramente transcreveu a fala do professor, já que seu entendimento seria de que, nesse caso, a resposta “tem de estar correta”, ou seja, corresponderia a resposta esperada. Esse novo modelo de avaliação a ser pensado deve refletir a necessidade de verificar o aprendizado e aproveitamento do estudante, mas ao mesmo tempo não tolher sua capacidade criativa e sua oportunidade de expressar seu pensamento. É preciso romper com esse jogo de “certo e errado” que já não faz mais sentido, uma vez que todo modelo é uma representação parcial da natureza, não havendo assim, um modelo “correto”. O que há são habilidades a serem trabalhadas, e, à partir do estágio em que se encontram desenvolvidas na modelização dos alunos, é que poderá se avaliar seu aprendizado.

Percebeu-se algumas concepções construídas acerca da modelização que envolvem confusão entre atividades experimentais e computacionais e seu papel na construção do modelo. Para oportunizar uma melhor compreensão do modelo computacional, sugeriu-se o uso do Modellus pelos próprios alunos, em alguma atividade de investigação supervisionada pelo próprio professor. Além de explorar os resultados matemáticos do modelo, representando-os através de gráficos e/ou tabelas, os estudantes podem comparar essas consequências com os dados medidos do experimento através dos próprios recursos do programa, evidenciando as diferenças inerentes às duas atividades. Mas além de melhorar o entendimento das diferentes representações na exploração do modelo proposto, o Modellus pode também permitir a exploração de modelos alternativos, à partir das ideias dos próprios alunos. Quando um aluno sugeriu a existência de uma força ao longo do plano inclinado, como que “propelindo” o objeto, aquele seria um momento interessante para construir um modelo alternativo, levando em conta essa consideração. O Modellus permitira representar as previsões desse modelo, enquanto que a experimentação propiciaria verificar sua validade. Dada a quantidade de hipóteses apresentadas pelos alunos ao longo do trabalho, muito além do imaginado, esse tipo de atividade daria mais significado ao modelo construído, haja vista que dessa maneira os alunos percebem a limitação de suas representações e a necessidade de construção desta nova. Além disso, ao perceber que suas representações também são exploradas, os alunos participam cada vez

mais na construção do modelo – e quanto maior a participação, maior o exercício das habilidades cognitivas de modelização.

Houve também ideias confusas com relação ao modelo e o aparato empregado no experimento. A relação que alguns alunos estabeleceram entre os materiais e a representação construída pode ser consequência de uma necessidade ainda existente de estruturar o conhecimento com base em algo concreto, não abstrato. Não é objetivo deste trabalho aprofundar essas questões, mas fica indicada uma linha de investigação a respeito da implementação de modelização no ensino médio, mais especificamente no primeiro ano: até que ponto é viável explorar esse tipo de abordagem, tendo em vista o desenvolvimento cognitivo dos alunos em geral? Estará a maioria apta a lidar com a criação de um modelo, que, em última análise, é um substituto abstrato para o objeto de estudo – uma representação deste? Embora as avaliações permitam verificar que a maior parte dos estudantes correspondeu às expectativas nesse aspecto, somente uma pesquisa baseada em Teoria Cognitiva possibilitaria resultados mais conclusivos.

Quanto às dificuldades indicadas com relação ao estabelecimento da sequência cronológica das atividades por parte dos alunos, isso pode ser evitado ao incluir na sequência a exigência dos registros no caderno por parte dos alunos. Esses registros não precisam se restringir a copiar o que o professor escreve na lousa. Pode-se solicitar aos alunos que mantenham anotações próprias e detalhadas, que contêm as suas impressões sobre o que aprenderam, como uma espécie de “Diário de Bordo”. Assim, ao acompanhar essas anotações, o professor tem condições de detectar no decorrer do processo alguma ideia equivocada que os alunos tenham, como a confusão entre modelo e aparato, citada anteriormente. E mais, pode-se ir além, explorando ambientes virtuais de aprendizagem, como a plataforma Moodle. Por intermédio deste recurso, o professor pode acompanhar o Diário de Bordo dos alunos, que deveriam escrevê-lo no ambiente, e otimizar seu trabalho, além de socializar esses registros com a turma toda, a depender de sua escolha. Na verdade, o Moodle disponibiliza muitas outras alternativas que podem modificar alguns aspectos da metodologia utilizada nessa aplicação da sequência, e inclusive melhorá-la. Apesar de não se fazer nesse trabalho um estudo mais profundo das potencialidades do uso dessa ferramenta no contexto da modelização em sala de aula, fica essa sugestão e a indicação de que uma possível extensão à investigação realizada seria explorar a inserção do Moodle nessa sequência.

Além desses pontos todos, também o incremento da motivação dos alunos é algo que não se pode ignorar. Graças ao acompanhamento das turmas na semana de Introdução, em que o pesquisador pôde observá-los numa aula mais próxima do contexto tradicional, pode-se afirmar, previamente, que muitos alunos que não participavam da aula e não se mostravam motivados com a abordagem anterior, tiveram uma mudança de comportamento nas aulas em que foi efetuada a modelização. A perspectiva de formular hipóteses, propor testes, investigar experimentalmente e computacionalmente, mesmo que tendo pouca ação nesse último caso, foram agentes capazes de modificar a postura de muitos alunos, que demonstraram participação ativa nas aulas. Um estudo comparativo entre as aulas tradicionais e as em que se usa o enfoque de modelização, a fim de avaliar os ganhos em motivação apresentados, seria extremamente recomendado como futura perspectiva de trabalho, a fim de tornar ainda mais consistentes os argumentos em favor dessa abordagem no ensino médio.

Por fim, espera-se que esse trabalho indique novas perspectivas para a abordagem da modelização na formação de professores. No curso de graduação, o pesquisador teve contato com esse tipo de atividade em disciplinas de Prática de Ensino de Física II e de Instrumentação para o Ensino de Física (INSPE A, B e C). Na primeira houve a oportunidade de simular em sala de aula, na faculdade, uma dinâmica envolvendo esse abordagem, o que se demonstrou um exercício muito produtivo, e proporcionado o primeiro contato do autor com o tema. No segundo caso, esse envolvimento com a construção de modelos foi mais perceptível na disciplina de INSPE B, em que os alunos devem confeccionar um material didático para o professor, com linguagem de nível universitário, tendo como tema um fenômeno ao qual deve ser confeccionado um modelo físico, pelos próprios alunos. Este material passará por um processo de transposição didática na disciplina de INSPE C, dando origem a um minicurso a ser ministrado a turmas do ensino médio em alguma escola da comunidade. Em linhas gerais, a esse conjunto de atividades envolvendo a elaboração do material e de sua apropriação para uso em sala de aula, dá-se o nome de projeto temático. Essas disciplinas de Instrumentação, do curso de licenciatura em Física da UFSC, tem uma trajetória que não será abordada aqui, mas que já foi objeto de estudo anteriores (DEVEGILI, 2012), ou seja, a configuração descrita é a correspondente ao período de formação do pesquisador, que cursou-as entre os anos de 2011 a 2013. A percepção do autor deste trabalho é que, na passagem do projeto temático da INPE

B para a INPE C, quando se efetua a transposição didática, muito da ideia de modelização perde-se.

Embora compreenda-se que se trata de um contexto distinto, de uma disciplina com objetivos específicos bastante delineados, em que talvez um minicurso de modelização não se faça possível, poderia ser analisada a hipótese de incluir mais desse tipo de atividade na execução da proposta. Apesar de os minicursos muitas vezes se utilizarem de estratégias e metodologias que envolvem mais os alunos, a maneira com que são conduzidos algumas vezes recai na abordagem tradicional – ou próxima a esta. Com este trabalho, objetiva-se mostrar que existe, de fato, uma alternativa que explora a construção de modelos no ensino médio, tal como a INSPE B explora a modelização física a nível universitário, embora compreenda-se que pertençam a contextos distintos e, por isso, devem considerar estratégias distintas. Há também o complicador de que a INSPE muitas vezes propõe a elaboração de projetos temáticos envolvendo física moderna e contemporânea. A inserção de física moderna e contemporânea já é um desafio em condições tradicionais, adicionar o enfoque de modelização pode trazer ainda mais problemas à execução dessa proposta. Ou não, já que, com essa reflexão, chega-se ao campo da hipótese e da conjectura. E, ainda nesse campo, a ideia aqui defendida aqui é que com base nesse trabalho, podem ser pensadas mais alternativas aos minicursos de INSPE C, que inclusive justifiquem e dêem mais significado à modelização realizada em INSPE B. Uma análise mais profunda de como a construção de um modelo pode ser mantida na execução da transposição didática do projeto temático com certeza enriqueceria a disciplina e instrumentalizaria os alunos a lidar com esta perspectiva de trabalho, que se demonstrou, com esta proposta, bastante prolífica e consistente com a visão contemporânea de ensino de Física.

REFERÊNCIAS

ALÉ, J. V. Apostila de Escoamentos Viscosos. [S.l.]: PUCRS, DEM, 2010. Cap. 7, p. 88-90.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**. Ministério da Educação. Brasília. 2000.

BREWE, E. Modeling theory applied: Modeling Instruction in introductory physics. **American Journal of Physics**, v. 76 (12), p. 1155-1160, Dezembro 2008.

DEVEGILI, K. L. **Os projetos temáticos na formação de professores de física na UFSC**. (Dissertação) Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2012.

FILHO, A. G.; TOSCANO, C. **Física para o ensino médio**. 1ª. ed. São Paulo: Scipione, v. Único, 2002.

HEIDEMANN, L. A.; ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Ciclos de Modelagem: Uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29 (Especial n. 2), p. 965-1007, Outubro 2012.

HESTENES, D. Toward a modelling theory of physics instruction. **American Journal of Physics**, v. 55 (5), p. 440-454, Maio 1987.

JAAKKOLA, T. E. N. S. Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. v. 24, p. p. 271 – 283, 2008.

JAAKKOLA, T.; NURMI, S. E. V. K. A comparison of students' conceptual understanding of electric circuits in simulation only and simulation-laboratory contexts. **Journal of Research in Science Teaching**, v. v. 48, n. 1, p. p. 71 – 93, 2011.

SEGRE, M. O Papel do Experimento na Física de Galileu. **Caderno de Física da UEFS**, v. 06 (01 e 02), p. 87-114, 2008.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24 (n. 2), Junho 2002.

ZACHARIA, Z. C. Comparing and combining real and virtual experimentation: an effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits.. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. v. 23, p. p. 120-132, 2007.

ANEXO I

AVALIAÇÃO DE FÍSICA

QUESTÃO 1: Escreva uma redação, com suas próprias palavras, resumindo o trabalho desenvolvido na Unidade ministrada pelo Estagiário, iniciada com a pergunta central “Como as coisas caem?” e desenvolvida com enfoque no Modelo do Plano Inclinado. Além de resumir, apontando os aspectos principais das atividades desenvolvidas durante as aulas, exponha o que você entendeu por Modelização – o que é, qual sua importância, por que se optou por utilizar esse processo, etc. Também é recomendável que expresse o que você aprendeu no decorrer das aulas, envolvendo as Etapas de Modelização e o entendimento do próprio fenômeno de Queda em si. Para poder ajudar você a refletir a respeito desses pontos, são apontadas algumas questões que podem ser respondidas a medida que você escreve seu texto. Não é necessário que sejam respondidas separadamente, você deve escrever a redação com suas palavras e, na medida do possível, respondê-las (sem obrigação de tratar todas). O objetivo dessas é ajudar você a organizar suas ideias no texto; além disso, você também pode escrever sobre outros aspectos relacionados que achar interessante.

- Qual a pergunta inicial do trabalho e como foi tratada na aula, no princípio?
- Qual o papel das hipóteses elaboradas, tanto no desenvolvimento do nosso trabalho quanto na ciência de uma maneira geral?
- Quais as maneiras com que podemos testar uma hipótese? Que características esse teste deve apresentar? Qual a importância de testar uma hipótese dentro do processo de Modelização?
- A pergunta inicial se manteve sempre a mesma? Quais os motivos que você acredita que podem levar o “investigador” a modificar a pergunta inicial de seu trabalho? Se mudarmos o foco de nosso trabalho, isso significa que não conseguiremos responder a pergunta inicial? Por quê?
- Por que se optou por construir um modelo para o fenômeno? O que é um modelo? Qual seu papel, tanto no trabalho desenvolvido na sala de aula, quanto na Física de maneira geral?

- Quais as etapas da construção de um modelo? O que cada uma delas significa e qual sua importância para o processo de Modelização? Como isso foi executado em sala de aula?
- Em que momento foi importante utilizar as Leis de Newton? Você é capaz de dizer como uma teoria geral (a Dinâmica, que abrange as Leis de Newton) se relaciona com um modelo específico?
- Ao longo do trabalho foi necessário efetuar algumas escolhas e/ou simplificações? Se sim, quais? Tente justificar a tomada de cada uma dentro do nosso contexto. Você acredita que sempre que um modelo é construído torna-se necessário fazer determinadas escolhas e/ou simplificações? Por quê?
- Quantos experimentos foram utilizados? Eles foram sempre usados da mesma maneira? Qual o objetivo de cada um e como foram executados? Que conclusões você consegue tirar a respeito de cada experimento, individualmente, e do papel das experiências em laboratório para a Modelização, de maneira geral?
- Qual o papel da simulação computacional (o modelo construído através do software Modellus) dentro do processo de Modelização? Quando e como foi realizada? Como se relaciona com as atividades experimentais?
- O modelo construído em sala é sempre válido, ou existem condições específicas em que não é? Existe a possibilidade de um modelo ser “plenamente válido”? Por quê?
- A que conclusões você chegou ao final do processo? O que você pode afirmar ao final desse trabalho sobre o que você aprendeu a respeito da Modelização, de maneira geral, e sobre o fenômeno modelizado?

QUESTÃO 2: Agora é a sua vez! Dada a seguinte pergunta: “*Como é o movimento de vôo de um avião?*”, o que você faria para entender esse fenômeno (o vôo do avião) de maneira similar ao que foi feito anteriormente? Dentro do contexto de modelização, baseado no que foi visto em sala (utilize sua própria redação como auxílio), descreva cada etapa que você executaria neste trabalho, como o maior detalhamento possível. Não é necessário efetivamente criar um modelo, mas você deve explicar o que faria em cada etapa do processo se fosse realmente contruí-lo. **Pesquise** a respeito desse fenômeno para poder ter o maior número de informações possível a respeito do movimento dos aviões.

ANEXO II

Modelo de Resposta para a Questão 1: Como as coisas caem?

A pergunta inicial do trabalho foi a mesma que dá título ao texto: “Como as coisas caem?” Essa pergunta foi feita para explorar as ideias dos alunos com relação à queda dos corpos. Foi realizada uma lista no quadro com as principais ideias, que eram muito variadas; muitas características do movimento de queda foram exploradas, tais como a dependência com a massa do objeto, com sua densidade, com a resistência do ar, entre outros. Essa foi considerada uma lista de hipóteses dos estudantes, importante para guiar o estudo do fenômeno. Na ciência em geral, as hipóteses refletem as ideias prévias dos cientistas com relação aos fenômenos que estudam: baseados em conhecimentos anteriores, eles podem elaborar suposições com relação a alguns aspectos desses fenômenos. Assim como foi feito em sala, refletir a respeito das hipóteses pode ser um “guia” para a pesquisa: as hipóteses são constantemente testadas e modificadas.

Uma maneira de testar uma hipótese é submetê-la a um experimento em que as variáveis serão controladas de maneira a verificar se a ideia é falsa ou não – se o fenômeno apresenta o comportamento esperado ou não. O teste deve estar intimamente ligado hipótese e restringir a investigação à ideia principal. Quanto melhor o controle das variáveis de modo a perceber apenas a dependência que se quer analisar, melhor o teste (ou seja, se outras variáveis podem influenciar no experimento, devemos mantê-las constantes). Para que um teste relacionado a uma das hipóteses fosse realizado, os alunos se reuniram em grupos para discutir e propor experimentos com esse intuito. As ideias foram compartilhadas com toda a turma e o professor ajudou a analisar cada teste para verificar se estava coerente com a hipótese correspondente. Ao fim, foi escolhido um teste específico: verificar se objetos com massas diferentes mas formatos semelhantes possuem tempos diferentes de queda quando soltos da mesma altura. A importância de testar hipóteses no processo de modelização faz parte da validação do modelo. Se algumas ideias foram assumidas em sua construção, elas devem ser postas à prova, para verificar se o modelo corresponderá a uma representação factível e coerente da realidade. Se a hipótese se mostrar falha, não contribui para uma formulação devidamente precisa do modelo – deve ser analisada e modificada.

Quando o experimento proposto foi realizado, surgiu uma dificuldade. Os tempos de queda eram pequenos demais para que pudessem ser medidos com precisão suficiente para serem comparados. Isso se deve pelo aparato usado: um cronômetro operado por um aluno, que possui tempo de reação comparável a dimensão da medida (tempo de queda de objetos simples de uma altura inferior às dimensões da sala de aula). Assim, foi proposta uma nova questão: “existe algum outro movimento de queda mais lento e que possibilitasse a medida do tempo correspondente em condições semelhantes ao procedimento anterior?”. Como as alternativas dos estudantes eram poucas e geralmente envolviam mais elementos ao experimento (como um pára-quedas, que aumentaria a resistência do ar), o professor sugere uma resposta: a queda numa rampa: um plano inclinado. Assim, concorda-se em mudar o foco do estudo para uma nova pergunta: “Como as coisas caem num plano inclinado?” Essa alteração não significa que não obteremos respostas à pergunta inicial (fato que se mostrou verdadeiro mais tarde). Um modelo pode fornecer respostas ao entendimento de outros fenômenos a que seu desenvolvimento não estava destinado, mas que encontram elementos em comum ao seu objeto de estudo.

A partir desse momento, começou-se a construção do modelo de maneira explícita. Um modelo é uma representação capaz de descrever e/ou explicar um fenômeno, fazer previsões, etc. Construir e utilizar essas representações é parte principal do trabalho dos físicos, pois é maneira como constroem conhecimento acerca da natureza. Realizar isso em sala de aula seria importante pois permitiria aos alunos um entendimento melhor de como o movimento de queda (no plano inclinado) pode ser entendido (representado) na física, já que fariam parte de cada etapa da construção desse conhecimento. As etapas do processo de modelização são: Descrição, Formulação, Ramificação e Validação.

Na Descrição, as características do fenômeno que se acredita serem relevantes para seu estudo são consideradas grandezas físicas. Recebem uma definição para explicitar o que significam no contexto do modelo. O professor listou quais dessas características os alunos achavam importantes, ajudando a esclarecer ideias inicialmente confusas, e definiu, suficientemente, cada uma delas.

No estágio de Formulação, essas grandezas são consideradas variáveis e se planeja estabelecer relações matemáticas entre elas, que forneçam resultados capazes de serem interpretados. O professor apresentou, segundo a dinâmica tradicionalmente tratada no ensino médio, a formulação de cada uma das forças relevantes ao movimento,

procurando discutir com os alunos as dependências entre as variáveis, para que pudessem ter algum significado para eles. Até mesmo a força de atrito foi explorada com experimentos realizados pelos alunos envolvendo sua medição através de dinamômetros. A ideia desse experimento foi analisar possíveis dependências dessa força com fatores propostos pelos estudantes. O professor orientou a experimentação de modo a guiar e incluir mais elementos de investigação, chegando ao final ao consenso de que a expressão comumente utilizada no ensino médio é coerente com o que foi observado. A Segunda Lei de Newton foi aplicada ao movimento de um corpo no plano inclinado e com ela foi obtida a expressão que representa a dependência da aceleração com as características do sistema.

Na etapa de Ramificação, novas situações tem interpretações e predições proporcionadas pela aplicação do resultado da formulação do modelo a condições específicas. Nesse caso, a queda vertical pôde ser explorada ao supor que o ângulo do plano inclinado fosse de 90° , e a situação de repouso também, ao se estabelecer que a velocidade inicial e aceleração do objeto são nulas.

Na fase de Validação, os resultados do modelo são postos à prova, evidenciando se a representação construída é factível (se os dados descritivos e preditivos são próximos ao que se pode medir experimentalmente) e coerente (se as relações idealizadas são verificadas na natureza) ou não. Isso foi realizado em duas etapas. Inicialmente, a equação para a aceleração do objeto no plano inclinado, bem como condições referentes a um possível experimento, foram implementadas num software de modelização computacional, o Modellus. Este forneceu observar a variação das grandezas aceleração, velocidade e posição com o tempo, através de gráficos, assim representando como seria um movimento segundo o modelo proposto. Com várias condições diferentes (plano inclinado “longo”, “curto”, presença ou ausência de resistência do ar, ângulo de inclinação de 90° , repouso no plano), os resultados que o modelo fornece foram observados e discutidos. Por fim, pôde-se estabelecer um comportamento padrão para a variação da posição com o tempo segundo o modelo. Isso foi testado mediante experimentos, realizados por grupos formados na sala, que extraíram dados do tempo de queda em função do caminho percorrido no plano e construíram o gráfico correspondente. A ideia é interpretar os dados experimentais frente ao previsto pelo modelo, e refletir a respeito de sua validade. A simulação computacional é aliada dos experimentos: permite explorar e representar resultados para depois confrontar com os dados medidos .

Numa discussão final em sala de aula buscou-se explorar várias questões. Como as simplificações realizadas na construção do modelo: estão relacionadas ao grau de complexidade do modelo que se quer construir e vão se refletir em seu domínio de validade. Um modelo nunca poderá ser “plenamente válido”, correspondendo a uma representação perfeita da natureza, devido a essas simplificações (escolhas e idealizações), inerentes ao processo de modelização. Com relação ao papel do experimento, segundo o que foi realizado em sala de aula, podendo se estender à ciência de maneira geral, podem servir para testar hipóteses simples, explorar as dependências de variáveis num fenômeno ou validar resultados de um modelo. por fim, referente aos modelos na ciência: os alunos se aproximam um pouco do trabalho do cientista através de uma construção muito semelhante (ainda que limitada) do conhecimento acerca da natureza, que se dá através dos modelos, nossas representações sistemáticas dos fenômenos.

Ao final do trabalho desenvolvido, muito foi visto com relação aos modelos: o que são, como são construídos, qual sua importância, como se relacionam com o trabalho dos cientistas, etc. O mais importante é que forneceu respostas à pergunta inicial: para prever como as coisas caem, é necessário antes saber algumas condições em que esse movimento ocorre. As diferenças de tempo de queda previstas devido à diferença de massa entre os corpos, ou devido à sua diferença de formato, podem ser entendidas como causadas pela resistência do ar. Para queda de alturas próximas às dimensões do cotidiano, a influência dessa força não se faz perceptível para a maior parte dos objetos, podendo inclusive ser desprezadas em alguns casos (algo que pode ser considerado um modelo mais simplificado para a queda dos corpos), e a aceleração dos corpos é aproximadamente constante e a mesma, resultando em tempos de queda muito próximos. Para alturas de queda muito mais elevadas, ou objetos com um formato que aumentem a relevância da resistência do ar, diferenças de tempo de queda podem se tornar perceptíveis, até mesmo bastante elevadas – no primeiro caso, temos inclusive a predição de que, a depender do corpo, em certo momento a aceleração torna-se nula e o objeto cai com velocidade constante.