

Marcelo Esteves de Andrade

# Simulação e modelagem computacional com o software Modellus:

Aplicações práticas  
para o ensino de física

MNPEF

LF  
EDITORIAL



Uma das mais belas frases de Cora Carolina, que mantenho postada na porta de minha sala, para alentar meu espírito em cada novo dia de trabalho na universidade, é

*“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina”*

Não posso pensar em frase mais apropriada para descrever o que deve estar passando pelo espírito dos professores de escolas do Ensino Médio que, com muito sacrifício e dedicação, estão se aperfeiçoando no programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física! Na tarefa de ajuda-los a aprender e alegrar seus espíritos, estão envolvidos, com grande dedicação e profissionalismo, professores universitários de sessenta e três polos, espalhados por todo o país, e os membros da Comissão de Pós-Graduação da SBF, incluindo a Pró - Reitoria. Todos têm plena consciência de que, para que o programa tenha o êxito almejado, é absolutamente necessário disponibilizar instrumentos didáticos adequados para profissionais que, embora estejam ensinando a matéria no Ensino Médio, nem sempre tiveram acesso a uma formação satisfatória em Física. Para isso a Série MNPEF foi planejada – prover material didático adequado para os alunos do programa evitando as dificuldades de textos preparados para a formação sequencial tradicional dos cursos de licenciatura e bacharelado. Agradeço profundamente aos colegas que estão se empenhando nessa tarefa. A recompensa por sua dedicação provavelmente não virá de promoções ou recompensas acadêmicas, mas sim do lampejo de satisfação no olhar de cada aluno ao aprender um novo tópico através de seus livros!

*Ricardo Galvão*

Marcelo Esteves de Andrade

# SIMULAÇÃO E MODELAGEM COMPUTACIONAL COM O SOFTWARE MODELLUS:

Aplicações práticas para o ensino de física

**MNPEF**



EDITORIAL

**Comissão editorial da Série MNPEF**

Anderson Gomes  
Ildéu de Castro Moreira  
Iramaia Jorge Cabral de Paulo (Coordenadora)  
Jorge Megid Neto  
Rita Maria Cunha de Almeida

Copyright © 2016 Editora Livraria da Física  
1ª Edição

**Direção editorial**

José Roberto Marinho

**Revisão**

Paula Santos

**Projeto gráfico**

Fabrcio Ribeiro

**Diagramação e capa**

Fabrcio Ribeiro

Edição revisada segundo o Novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

---

Andrade, Marcelo Esteves de

Simulação e modelagem computacional com o software Modellus: aplicações práticas para o ensino de física / Marcelo Esteves de Andrade. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

**Bibliografia**

ISBN 978-85-7861-405-8

1. Educação - Processamento de dados 2. Física - Estudo e ensino 3. Modelagem por computador 4. Modellus (Programa de computador) 5. Simulação (Computador) 6. Tecnologia da informação I. Título.

---

16-03517

CDD-539.707

Índices para catálogo sistemático:

1. Física em computadores: Estudo e ensino 539.707

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida sejam quais forem os meios empregados sem a permissão da Editora.

Aos infratores aplicam-se as sanções previstas nos artigos 102, 104, 106 e 107 da Lei Nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998



EDITORIAL

Editora Livraria da Física  
[www.livrariadafisica.com.br](http://www.livrariadafisica.com.br)

## Apresentação da série

O Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física – MNPEF (PROFIS) é, como sugere o título, um programa nacional de caráter profissionalizante voltado a professores de Física da Educação Básica com vistas a melhorar, recuperar, atualizar o ensino de Física no país. É uma iniciativa da Sociedade Brasileira de Física, com apoio da CAPES e de várias Instituições de Ensino Superior que atuam como Polos do MNPEF.

O ensino de Física na Educação Básica precisa passar por mudanças significativas, pois está desatualizado em termos de conteúdos e metodologias. Embora possam constar nos programas das disciplinas, conteúdos de Física Moderna e Contemporânea não são abordados. Os conteúdos trabalhados são, majoritariamente, do século XIX e as metodologias de ensino são, predominantemente, aulas expositivas e resolução de exercícios, sem incorporar as tecnologias de informação e comunicação.

A proposta do MNPEF procura contribuir para essa mudança: o currículo enfatiza conteúdos de Física mais atualizados e o uso de tecnologias de informação e comunicação, mas também dá atenção a marco históricos e epistemológicos no desenvolvimento da Física, assim como para teorias de aprendizagem. Além disso, o trabalho de conclusão

do mestrado deve incluir um produto educacional que tenha sido usado em condições reais de sala de aula e possa ser utilizado por outros professores de forma independente do mestrado.

Para alcançar os objetivos dessa proposta é preciso que o mestrando passe por um ensino diferente do tradicional e que disponham de materiais instrucionais adequados a esse ensino.

Materiais instrucionais incluem livros como os da Série MNPEF. São textos sobre conteúdos de Física, por exemplo, de Mecânica Quântica, com um enfoque mais conceitual e fenomenológico, porém sem descuidar de um formalismo básico. São também textos sobre o uso de estratégias como modelagem e simulação computacionais ou sobre marcos no desenvolvimento de Física. Outra possibilidade é a inclusão de textos que abordem tópicos como Física e música, Física e arte, Física e medicina, Física e engenharia, porém sempre com o objetivo de ensinar Física.

É nesse sentido que é feita a apresentação desta Série do MNPEF. O ensino de Física carece de livros que não sejam centralizados em questões de exames ou de problemas a serem resolvidos mecanicamente com aplicações de fórmulas.

*Marco Antonio Moreira*

Dedico esta obra a minha esposa Camila e aos meus filhos,  
Vitória e Lucas Gabriel.





Agradeço à coordenação do MNPEF e SBF pela oportunidade de desenvolver e divulgar esta obra, também ao IFES onde desenvolvo a pesquisa sobre a inserção da modelagem computacional no ensino, em especial ao professor Luiz Otávio Buffon e aos alunos Adão Satério e Guilherme Paiva.



# Sumário

Apresentação .....	13
Capítulo 1 – As tecnologias da informação e comunicação na escola contemporânea .....	15
Capítulo 2 – Atividades de simulação e modelagem no ensino de física.....	23
Capítulo 3 – O uso de simulações e modelagem no contexto da aprendizagem ativa e do ensino por investigação.....	31
Capítulo 4 – O Programa Modellus.....	47
Capítulo 5 – Construindo Modelos.....	59
Capítulo 6 – Construindo Modelos com condições .....	69
Capítulo 7 – Usando derivadas .....	77
Capítulo 8 – Exemplos de Aplicação para o Ensino Médio.....	85
Capítulo 9 – Exemplos de Aplicação para o Ensino Superior..	97
Capítulo 10 – Propostas de Planos de Aula .....	109
Capítulo 11 – Considerações finais .....	119
Referências.....	123
Sobre o autor .....	127



## Apresentação da obra

A introdução de práticas educacionais que relacionem inovação com um ensino mais eficaz tem sido um desafio para todos os professores que buscam uma mudança no contexto de ensino da sala de aula. No ensino de física esse fator também está presente. Vemos hoje que existem inúmeras pesquisas mostrando o potencial de novas metodologias e ferramentas para que se melhore a qualidade no ensino dessa disciplina tão desafiadora que é a física. Em contrapartida, vemos que a apropriação dos resultados dessas pesquisas que acontecem nos meios acadêmicos e em geral no contexto de cursos de pós-graduação nem sempre é feita por parte dos professores que se encontram dentro das salas de aula ministrando a disciplina de física, principalmente no que diz respeito ao uso das novas tecnologias da informação e comunicação, as chamadas TICs. Para tentar de alguma forma suprir a necessidade de divulgar o uso dessas propostas para os professores que atuam principalmente no ensino fundamental e médio decidimos criar um material que pudesse dar um subsídio teórico e prático de modo a poder complementar a prática do professor em sala no que diz respeito ao uso das TICs na disciplina de física. Longe de ter a pretensão de resolver todos os problemas relacionados a essa disciplina, queremos apenas que aqueles professores que desejam incorporar novas metodologias em sua prática

pedagógica tenham um material em suas mãos que possa ajudá-los na implementação desses novos métodos e assim poder aplicar essas atividades em seu contexto de sala de aula. Apresentamos nesta obra as possibilidades do uso da modelagem e simulação computacional como um recurso alternativo para se desenvolver atividades de exploração, construção e investigação no ensino de física através da ferramenta computacional Modellus. O software Modellus é um programa de simulação e modelagem computacional que foi desenvolvido com fins educacionais e que é utilizado para a criação e exploração de animações em ciências e matemática a partir de modelos dos fenômenos estudados. Abordaremos aqui diversas formas de utilização do programa, suas características técnicas, mostramos alguns exemplos de aplicação e também propomos alguns planos de aula que servirão de base para o professor que desejar fazer uso da estratégia. Tratamos também, de forma sucinta, aspectos teóricos e metodológicos que servem de aporte para a criação e desenvolvimento das atividades de modelagem e simulação. O uso e aplicação do programa Modellus tem sido objeto de estudo e pesquisa em alguns programas de Pós-graduação em ensino de física no Brasil com aplicação no contexto do ensino de física em nível médio e superior, como relatados nos trabalhos de Araújo (2005), Dorneles (2010), Andrade (2010) e Oliveira (2010). Os trabalhos resultantes dessas pesquisas têm mostrado um grande potencial desta ferramenta para o seu uso em sala de aula e esperamos com esse material difundir ainda mais o uso desse programa de forma que mais professores e principalmente alunos tenham contato com atividades envolvendo esse software.

*Marcelo Esteves de Andrade*

# As tecnologias da informação e comunicação na escola contemporânea

**A**o longo das últimas décadas o uso do computador como ferramenta complementar de ensino tem crescido amplamente e com o advento e popularização da tecnologia fica cada vez mais evidente que o uso desse instrumento no contexto da sala de aula se tornou um processo irreversível. Com o passar do tempo as escolas têm se adequando a esta realidade, buscando ter em suas unidades laboratórios de informática equipados com computadores e acesso à *internet* visando a incorporação das tecnologias no dia a dia do aluno. Portanto, é um consenso que o computador entra hoje como uma nova ferramenta de apoio ao ensino, assim como o livro didático, as apostilas, os kits de experimentos, entre outros.

Dentro desse contexto, é preciso ter uma certa dose de cautela no que diz respeito principalmente à metodologia na qual essas ferramentas serão utilizadas, de modo que ela não se torne apenas uma forma de entretenimento educacional ou um fim em si mesma, mas sim um meio concreto de

contribuir para um ensino mais efetivo, mais interativo, mais dinâmico e que tenha uma grande relevância no processo de formação de nossos alunos. Apesar do uso do computador como uma ferramenta de ensino já ser uma realidade em muitas escolas, seu uso ainda apresenta algumas falhas no que diz respeito a sua aplicação e aos métodos nos quais essa aplicação está endossada. Isso acontece por diversos fatores, mas acreditamos que um dos principais está no fato de que, por ainda estarmos num processo de transição, a maior parte dos professores não possui uma formação específica que contemple o uso das novas tecnologias no contexto da sala de aula. Os cursos de licenciatura nas diversas áreas ainda estão se adaptando no que diz respeito à introdução de disciplinas que visem a formação dos futuros professores no quesito do uso das ferramentas computacionais.

Nesse contexto de transição podemos enxergar os limites do espectro da utilização das tecnologias no ensino por parte dos professores, num dos extremos temos aqueles que são céticos em relação à efetividade da aplicação de propostas com o uso da informática e da tecnologia e no outro extremo aqueles que acreditam que o uso do computador poderá resolver todos os problemas educacionais. Nesse panorama, vemos hoje a necessidade que temos de transitar na região de equilíbrio entre essas duas posturas de pensamento em relação ao uso da tecnologia, nem céticos demais a ponto de descartamos o seu uso e nem tão inocentes acreditando que ela seja a solução para todos os problemas no ensino, que como sabemos passa por questões mais complexas e de um caráter multifatorial.

### **O uso das tecnologias e os PCNs**

De acordo com Veit e Teodoro (2002), a utilização dessas novas tecnologias no contexto da sala de aula ainda está muito defasada em relação ao seu uso científico, necessitando que, para cada área específica do conhecimento, se



incorporem as tecnologias no processo de ensino-aprendizagem conforme orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (BRASIL, 1999) que, por sua vez, também apontam a importância da atualização no ensino em relação às TICs, de forma que o professor seja levado a utilizar abordagens e metodologias de ensino mais atuais e mais eficazes, visando desenvolver as competências e habilidades pelo aluno, em cada disciplina.

Com o advento da informática e da Internet, o mundo atual tem sido dominado pelo uso das tecnologias em basicamente todos os setores da sociedade, fazendo com que os alunos desde cedo já tenham um interesse e domínio dos recursos tecnológicos existentes. Reside, então, nesse fato uma grande oportunidade para usarmos os recursos da tecnologia em nossa prática pedagógica, de forma a implementarmos estratégias de ensino mais eficazes tendo em vista os objetivos propostos para o ensino de física na Educação Básica.

## **A tecnologia e o mundo dos alunos**

O avanço do conhecimento na área tecnológica propicia aos alunos uma maior interatividade e agilidade na busca pelo saber científico. Agilidade, velocidade de comunicação e praticidade fazem parte da rotina dos estudantes e, muitas vezes, essas características nem sempre são acompanhadas no meio escolar devido à falta de recursos físicos ou, muitas vezes, pela incapacidade de investir em tecnologia, tornando a aprendizagem menos atraente para os alunos. Caso não ocorra uma adequação das escolas e dos profissionais da área de educação na produção, desenvolvimento e aplicação de tais tecnologias, o mundo escolar ficará cada vez mais distante do mundo dos alunos.

Com esses fatores em mente, devemos refletir sobre a utilização das novas tecnologias da informação e

comunicação no processo educacional e perceber que ela só é justificada se de fato contribuir para a melhoria e o crescimento na qualidade do ensino e da aprendizagem, por isso a aplicação das tecnologias deve estar em constante avaliação de modo que de fato se verifique a melhoria na construção do conhecimento por parte do aluno, o que de outra forma não justificaria o uso dessas novas práticas.

### **Recursos disponíveis para o ensino de física**

Dentre as propostas e ferramentas didáticas mais significativas, podemos destacar as principais modalidades de uso do computador no ensino de Física: tutoriais, uso de vídeos, aquisição de dados, simulação e modelagem computacional. Grandes projetos também foram criados com o intuito de difundir o uso do computador no ensino de física e ciências em geral. Um dos projetos mais conhecidos em nível mundial é o projeto PHET *Interactive Simulations* da Universidade do Colorado nos Estados Unidos, que mantém uma plataforma virtual com diversas simulações na área de física, química e biologia. As simulações são desenvolvidas buscando sempre uma maior interatividade do aluno com o objeto de estudo e são disponibilizadas gratuitamente podendo ser usadas online ou baixadas num computador. Aqui no Brasil um projeto que também busca difundir e incentivar o uso das tecnologias na sala de aula é o projeto RIVED, que é uma plataforma online que abriga diversas atividades de cunho computacional. O principal objetivo desse projeto é a produção de objetos digitais de aprendizagem que visam potencializar o uso da informática nos diversos contextos de ensino, principalmente no contexto da escola pública de educação básica.

## **Modelos, Modelagem e o Ensino da física.**

Dentre modalidades de ferramentas computacionais para o ensino de Física existentes, destacaremos nesta obra o uso das atividades de simulação e modelagem computacional. Esse recurso tem se mostrado uma ferramenta com um grande potencial para a aprendizagem em física, matemática e ciências em geral por oferecer a oportunidade ao aluno de ter um contato mais concreto com o objeto de estudo e por favorecer o processo de construção do conhecimento.

No contexto científico contemporâneo, o processo de modelagem assume um papel fundamental na busca por respostas que auxiliam o homem a compreender o mundo em que vive, já no contexto do ensino a simulação e a modelagem potencializam estratégias que podem levar os alunos a construir o seu conhecimento de forma mais ampla. Sabemos que a ciência em geral, e em particular a física trabalha com modelos que são por sua vez transcrições da realidade, e que se utilizam de aproximações e idealizações. Essas transcrições têm como objetivo tornar o estudo da realidade mais acessível ao homem, que por sua vez, de posse desse conhecimento, pode transformar essa realidade. Dentro desse contexto, o físico e filósofo Mario Bunge destaca que alguns aspectos do modelos serão negligenciados nessa modelização mas a conversão de coisas concretas em imagens e sua transformação em modelos teóricos cada vez mais adequados é o caminho efetivo para a apreensão da realidade pelo pensamento (BUNGE, 2008).

Falando sobre modelagem computacional, Santos (2002) afirma que um modelo é um substituto para um sistema onde um conjunto de regras que descrevem algo pode ser considerado um modelo, mas o mais importante, cita ele, é que todo o nosso pensamento depende de modelos. Dessa forma, podemos entender que tanto a construção da física como principalmente o ensino dela, deve levar em conta de forma explícita o fato de que tudo que aprendemos ou

ensinamos são modelos da realidade e que muitas vezes o ensino é uma transformação dos modelos mentais que os alunos possuem. Assim, ao ensinar um certo tópico de uma dada disciplina destacando a sua construção como fruto de um modelo da realidade, temos um benefício maior aos alunos, pois isso permite que eles tenham uma noção mais clara e abrangente sobre a própria natureza do conhecimento científico.

Falando sobre a inserção da modelagem no ensino de física, Araújo, Brandão e Veit (2008) destacam que a modelagem é mais do que uma ferramenta útil para a resolução de problemas, ela pode contribuir de forma significativa para uma visão de ciência mais adequada, cuja essência está na criação de modelos. Estratégias de ensino que fazem uso da modelagem computacional tem um potencial muito grande para permitir que o conhecimento do aluno seja desenvolvido não a partir da ideia de uma ciência pronta mas sim a partir da construção desses modelos que passam por sua vez por simplificações, aproximações e idealizações, e guiado por esses processos o aprendizado se torna mais amplo e significativo. A modelagem computacional por seu turno se baseia na construção de um modelo de um fenômeno natural usando uma interface virtual. O modelo é construído a partir da identificação de variáveis e parâmetros envolvidos no fenômeno em questão, e das equações matemáticas que regem tal fenômeno e, a partir dessa construção, o modelo pode ser simulado, explorado, testado e também ser expandido para situações mais gerais. Várias dessas interfaces já são usadas em contextos de ensino em cursos de graduação e pós-graduação. Podemos destacar o grupo de ensino de física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde os professores Ives Araújo e Eliane Veit trabalham com essa estratégia em suas disciplinas e também orientam trabalhos de pós-graduação nessa área, tanto no mestrado profissional como no mestrado acadêmico e doutorado. Também destacamos

o grupo do professor Arion kurtz dos Santos da Fundação Universidade de Rio Grande com o projeto ModelCiências, que tem como base o aprendizado exploratório de ciências através da modelagem computacional. Na Universidade Federal do Espírito Santo temos também o ModeLab, que é um laboratório liderado pelo professor Laércio Ferracioli que também desenvolvem pesquisas na área de modelagem computacional. No próximo capítulo, falaremos um pouco mais sobre a inserção das atividades de simulação e modelagem no contexto do ensino de física.



# Atividades de simulação e modelagem computacional no ensino de física

**A** utilização das novas tecnologias da informação e comunicação no processo educacional só é justificada se de fato contribuir para a melhoria e o crescimento na qualidade do ensino e da aprendizagem, por isso a aplicação das tecnologias deve estar em constante avaliação de modo que de fato se verifique a melhoria na construção do conhecimento por parte do aluno, o que de outra forma não justificaria o uso dessas novas práticas (ANDRADE, 2015).

Ferracioli e Sampaio (2001) sugerem que as propostas de trabalho mediadas pelo uso do computador devem ser direcionadas no sentido de que a tecnologia da informática deva ser utilizada como uma ferramenta de conhecimento, como uma máquina capaz de ampliar a capacidade do aluno em formular perguntas e muito menos em simplesmente encontrar respostas.

No contexto do ensino de física, várias propostas têm sido apresentadas visando incorporar as ferramentas

computacionais como forma de aprimorar o ensino dessa ciência, mas vamos nos concentrar aqui apenas no uso de atividades que envolvam o uso de simulações e de modelagem computacional como recursos instrucionais complementares aos recursos já existentes. De acordo com Veit e Teodoro (2002) a introdução da modelagem computacional no processo de ensino e aprendizagem possibilita uma melhor compreensão do seu conteúdo e contribui para o desenvolvimento cognitivo em geral, pois a modelagem facilita a construção de relações e significados, favorecendo a aprendizagem construtivista. Nessas atividades além de poder atuar sobre a variação de parâmetros e valores iniciais, o aluno tem acesso também aos elementos básicos do modelo referente ao fenômeno físico em questão.

O aluno pode também, construir seu próprio modelo, desde sua estrutura matemática ou icônica até a análise dos resultados gerados por ele, ou fazer alterações em modelos computacionais previamente construídos. Numa abordagem que possui um caráter fortemente interativo, os alunos são levados a fazer generalizações, comparações, testar e modificar variáveis dentro de um dado fenômeno estudado de forma que o aprendizado de física se torne mais amplo e mais dinâmico, possibilitando também a análise e o entendimento das relações matemáticas e conceituais subjacentes a cada fenômeno físico.

No ensino tradicional de física tanto em nível médio como superior, boa parte dos alunos, por apresentarem deficiências quanto ao domínio do formalismo matemático, dificilmente compreendem completamente as relações existentes em determinado sistema físico em estudo (CAMILETTI, 2001). Dessa forma, ao entrar em contato com atividades de modelagem computacional o aluno pode ser instigado com questões apropriadas, que requeiram interação com o modelo, e pode-se favorecer a reflexão deste sobre



os efeitos de suas ações sobre os resultados gerados pelo modelo computacional.

Dentro desse contexto, podemos destacar alguns importantes softwares específicos de construção de simulações e modelagem que vêm sendo utilizados com fins educacionais: STELLA, POWERSIM, VENSIM, LOGO, MODELLUS e ALGODOO, alguns desses programas utilizam uma linguagem metafórica própria, outros utilizam a mesma sintaxe de escrita usada ao se escrever um modelo no papel, esse é o caso do programa Modellus que é o objeto de estudo deste livro, que além de possuir esse diferencial em relação a outros programas também é um software livre para uso educacional podendo ser baixado em sua página da internet sem nenhum custo. Com o Modellus, os alunos podem ser submetidos a atividades de exploração dos modelos ou simulações, que são as atividades nas quais os alunos recebem um modelo já pronto e têm a possibilidade de alterar os valores de variáveis e parâmetros de um dado modelo preestabelecido, essas atividades, por sua vez, têm apenas um caráter de simulação computacional. Um outro tipo de atividade, com um caráter mais construtivista, também pode ser proposta aos alunos, que são as atividades de construção, onde dado um certo fenômeno ou situação problema o aluno deverá construir seu próprio modelo dentro da plataforma virtual. Essas atividades de construção é que se caracterizam melhor como atividades de modelagem computacional. O Modellus se torna, então, uma ferramenta cognitiva que poderá ajudar o professor na construção do conhecimento de física por parte do estudante.

Santos (2002) nomeia esses dois tipos de atividades no contexto da modelagem computacional como exploratórias, em que o aluno apenas faz mudanças nos parâmetros do modelo, e expressivas, em que os alunos podem modificar a estrutura básica do modelo ou até mesmo construir totalmente o modelo. Iremos mais à frente propor outra divisão

alternativa para o uso da modelagem e da simulação no contexto da sala de aula. A partir dessas considerações podemos destacar então algumas das possibilidades geradas pela inserção das atividades de simulações e modelagem computacional no contexto da sala de aula, entre outras coisas, elas permitem:

- a) Construção e exploração de modelos.
- b) Análise gráfica qualitativa e quantitativa.
- c) Visualização virtual de um fenômeno.
- d) Teste de hipóteses sobre um determinado fenômeno.
- e) Maior interação entre o aluno e o objeto de estudo.

Tais aspectos sugerem que o uso de atividades de simulação e modelagem computacional pode auxiliar o professor de física e ciências complementando sua prática docente que geralmente se resume na transmissão oral e escrita dos conhecimentos. O fator motivação também é muito importante nesses casos, pois além do interesse natural despertado pelo uso de micro-computadores, os resultados de pesquisas nessa área sugerem que a aplicação de atividades de modelagem exerce uma influência positiva na predisposição do indivíduo para aprender física (DORNELES, 2010). Isso ocorre à medida que a relevância de determinadas relações matemáticas e conceitos é percebida pelo aluno durante o processo de interação com os modelos conceituais, permitindo que o conteúdo visto anteriormente por ele, e que até então estava muito abstrato, passe a ter um referencial mais concreto. Podemos citar aqui o trabalho de Dorneles, Araújo e Veit (2006), em que eles relatam uma experiência de aplicação dessa ferramenta para o ensino de circuitos elétricos numa disciplina de física geral de nível superior e apontam que nessa modalidade de ensino existe muita interação dos alunos com as atividades computacionais, dos alunos entre

si e com o professor, tornando-se um elemento motivador na aprendizagem dos alunos. Também podemos destacar propostas de ensino com o uso do Modellus no ensino da física em nível médio, como é o caso do trabalho de Andrade (2010) com a construção de atividades envolvendo a cinemática e o trabalho de Dias (2010) envolvendo o ensino da Relatividade Restrita.

Dentro dessa perspectiva, o professor possui uma gama de opções para a utilização do programa de acordo com o seu planejamento metodológico, logo o Modellus pode ser inserido de diversas formas nas aulas de física, dependendo das possibilidades estruturais e recursos que se tem, e também dos objetivos pretendidos pelo professor.

### **Possibilidades práticas do uso do programa**

A construção das simulações e animações dos fenômenos físicos no programa Modellus é feita basicamente através da escrita das equações matemáticas na área de trabalho do software e através da inserção de alguns itens como imagens, partícula e vetores é possível criar uma animação associada a essas equações matemáticas. Iremos abordar de forma mais detalhada os procedimentos de criação das animações nos capítulos quatro e cinco. Para trabalhar com as simulações e animações na sala de aula vamos propor aqui algumas possibilidades de utilização da ferramenta Modellus dividindo-as de acordo com a metodologia a ser empregada.

#### *1 – Exploração Expositiva e Construção Coletiva:*

É quando o professor usa o programa no contexto de aula expositiva com o intuito de mostrar ou explorar o modelo de um fenômeno físico que já foi construído previamente, ou fazer a construção do modelo de forma coletiva com os seus alunos escrevendo as equações em tempo real e construindo a simulação de modo que os alunos vejam o passo a passo dessa construção, para isso o professor já deve

ter um domínio razoável da ferramenta para executar a atividade. Nessa situação o professor só necessita de um computador e de um projetor de vídeo, e a ferramenta é utilizada com o intuito de ilustrar o dado fenômeno físico e identificar como esse modelo está associado a tal fenômeno. Mesmo sendo no contexto de uma aula expositiva, o professor pode instigar os alunos fazendo perguntas em relação à simulação e mostrando em seguida o que de fato acontece, trazendo o aspecto investigativo para dentro do processo de ensino.

### *2 – Exploração individual:*

Nessa modalidade faz-se necessário que cada aluno, ou grupos de alunos, estejam com um computador, nesse caso o laboratório de informática pode ser utilizado para tal fim. De posse de um roteiro com questões apropriadas, ou de questões propostas pelo professor oralmente ou escritas no quadro os alunos são levados a explorar o modelo sugerido, alterando valores e modificando os parâmetros iniciais, como também fazendo a análise gráfica do comportamento das variáveis envolvidas no fenômeno físico que está sendo estudado a partir do modelo. É interessante nessa modalidade que o roteiro contenha questões que levem os alunos a discutir e refletir sobre o modelo e que eles tenham que formular hipóteses e testá-las a partir da exploração. Esse tipo de utilização também é caracterizada como simulação computacional pois da mesma forma os alunos não são levados a modificar a estrutura básica do modelo.

### *3 – Construção Dirigida:*

Aqui também é necessário que cada aluno ou grupo de alunos esteja de posse de um computador. Nessa modalidade, o professor, de forma verbal ou de forma escrita, vai direcionar ou orientar a construção e animação do modelo por parte dos alunos. A atividade se inicia a partir da descrição do fenômeno que se quer abordar, das simplificações que serão feitas, em seguida o professor orienta a escrita das

equações matemática e da animação. Após essa construção os alunos podem também testar e explorar o modelo, assim como responder a questões propostas pelo professor através de um roteiro que guiará a análise dos alunos.

#### *4 – Construção Individual:*

Nessa modalidade os alunos recebem apenas a situação física que se quer modelar, como a queda de um corpo, ou um objeto que é lançado com um certo ângulo, entre outras, e essa situação deve ser transcrita para o modelo computacional de modo que seja testada a sua validade e também algumas hipóteses relativas ao comportamento do modelo em questão. Dessa forma pode-se concluir se o modelo criado pelos alunos se comporta conforme o esperado pela teoria científica que o sustenta, e o professor também pode propor questões para discussão do modelo criado pelos alunos.

Essa é a atividade que sugere o maior grau de dificuldade para os alunos pois qualquer relação errada escrita no modelo matemático ou qualquer grandeza inserida de forma inadequada vai interferir no funcionamento correto do modelo. Essas duas últimas propostas são de fato o que consideramos como atividades de modelagem computacional, pois nelas os alunos têm a oportunidade de construção do modelo físico baseado numa situação. Os modelos podem por sua vez ser simples, com poucas variáveis e parâmetros, ou podem ser mais complexos levando-se em consideração muitas variáveis que influenciam na situação real.

Vale destacar nesse ponto dois aspectos importantes, o primeiro deles é a estruturação adequada dos roteiros preparados pelo professor, eles devem ser feitos de forma clara, objetiva e que atendam aos objetivos de aprendizagem propostos para aquelas atividades. As perguntas devem ter um caráter reflexivo e investigativo e que levem o aluno a pensar e discutir o fenômeno físico em questão, lembrando dessa forma que a ferramenta computacional é apenas um meio

para a aprendizagem e não um fim em si mesma. Esse cuidado deve ser levado em conta pois algumas vezes se acredita que o simples uso de uma ferramenta diferenciada, como é o caso do computador, já garante o sucesso da aplicação da proposta, e sabemos muito bem que esse não é o caso, a metodologia tem um peso muito grande quando pensamos no alcance dos objetivos de aprendizagem.

O outro fator é o papel do professor e dos alunos nessas atividades, principalmente nas atividades de construção, pois nelas o professor atua como alguém que vai conduzir o aluno na interação com o objeto de estudo, e o aluno por sua vez não pode ter uma postura passiva frente a atividade proposta, pois precisa interagir de forma direta com o objeto de estudo e também com os seus pares e com o professor, para que dessa forma ele consiga atingir os objetivos da aula e da atividade. Esses fatores tornam as atividades de construção um diferencial em termos de ganhos na aprendizagem dos alunos.

Esse tipo de atividade, como as de construção, insere o aluno num contexto onde ele pode trabalhar com múltiplos meios de linguagem e representação e, de acordo com Capechi e Carvalho (2004), o ensino atual, fundamentado na simples transmissão, dificulta a compreensão por parte dos alunos sobre o papel que diferentes linguagens representam na construção dos conceitos científicos. No próximo capítulo analisaremos a inserção das atividades de simulação e modelagem computacional no contexto do ensino por investigação e da aprendizagem ativa.

# O uso de simulações e modelagem no contexto da aprendizagem ativa e do ensino por investigação

**N**os dias atuais, muitas ferramentas digitais e objetos virtuais de aprendizagem estão sendo desenvolvidos para o uso em sala de aula no ensino de ciências e especificamente no ensino de física. A quantidade de materiais nessa categoria que está disponível hoje na internet é vasta e consegue cobrir praticamente todos os conteúdos tradicionalmente trabalhados no ensino de física em nível médio. Dessa forma a apropriação e implementação desses recursos na sala de aula ficou mais acessível tanto a professores como a alunos, e uma vez que a disponibilidade desses recursos e seu acesso ficaram facilitados, a questão que precisamos responder hoje se refere principalmente à metodológica na qual essas ferramentas serão aplicadas. Em outras palavras, precisamos nos debruçar sobre o “como fazer” quando formos pensar na aplicação das tecnologias digitais na educação. Esse “como fazer” se remete a qual ou quais metodologias,

abordagens e princípios teóricos iremos utilizar para empregar os recursos tecnológicos a fim de que os objetivos de ensino sejam alcançados e as habilidades requeridas sejam desenvolvidas através dessas atividades. Acreditamos que o professor em sala de aula não precisa ser um especialista em determinada linha ou referencial teórico para conseguir aplicar atividades com o uso da tecnologia, mas por outro lado faz-se necessário que se conheça os princípios gerais que norteiam a aprendizagem dos alunos e quais métodos e estratégias surgem mais efeitos e quando e como estas podem ser utilizadas. Por exemplo, é um consenso que o aluno aprende muito mais quando interage diretamente com o objeto de estudo e também quando há interação entre ele e seus pares, o professor precisa então, de posse desse princípio, planejar uma estratégia que gere momentos em que esse aspecto seja contemplado. Propomos que ao se desenvolver atividades de ensino utilizando objetos virtuais de aprendizagens se leve em conta três aspectos que servem tanto de ponto de partida como também de base para a aplicação de uma estratégia de ensino usando os recursos computacionais. Esse tripé está baseado nos três pontos seguintes:

- 1 – Conteúdos e objetivos de ensino
- 2 – Ferramenta Computacional
- 3 – Metodologia

É preciso que o professor, ao planejar a aplicação de algum recurso computacional visando obter resultados mais efetivos em sua abordagem na sala de aula, tenha o domínio desses três aspectos, pois, segundo Perrenoud (2000), um dos desafios do professor é organizar e dirigir as situações de aprendizagem e para isso é fundamental reconhecer as representações dos alunos, os obstáculos, a aprendizagem, o conhecimento dos conteúdos e a elaboração da sequência de ensino de modo que as situações de aprendizagem sejam significativas, problematizadoras e contextualizadas. Para



tanto, cada um desses aspectos tem um papel relevante na estrutura do planejamento do professor.

O primeiro aspecto se refere àquilo que será ensinado, que no nosso caso corresponde ao conteúdo da física em si e também aos objetivos que se pretende alcançar com esses conteúdos, tendo em vista que o conteúdo abordado não é um fim em si mesmo. É preciso que fique claro para o professor aonde ele quer chegar em termos de aprendizagem, e o que define isso são os conteúdos e os objetivos de ensino subjacentes a este. O segundo aspecto se refere à ferramenta computacional que será utilizada, e nesse ponto também faz-se necessário o domínio por parte do docente não só da manipulação técnica da ferramenta, mas também das questões relativas ao seu uso, como termos de licença, aplicabilidade e adequação aos recursos que estão disponíveis em seu contexto escolar, entre outros. Não é raro situações onde a tecnologia acaba falha e nos pegando de surpresa e dessa forma colocando todo um planejamento de aula em risco, por isso é necessário que o professor tenha um bom domínio da ferramenta da qual ele se predispõe a utilizar e da estrutura e recursos disponíveis em sua unidade escolar, bem como da sua adequação ao público-alvo em questão.

O terceiro aspecto tem a ver com a forma que vamos utilizar a ferramenta computacional para se chegar na aprendizagem dos conteúdos de física e também nos objetivos de ensino pretendidos, estamos falando aqui da metodologia ou estratégia de ensino empregada para desenvolver a proposta didática. Esta por sua vez irá guiar os passos do professor no que diz respeito aos princípios teóricos que nortearão a aplicação da ferramenta computacional. Infelizmente, muitos de nós professores em nossa prática nem sempre damos a devida atenção a esse aspecto do planejamento didático e, ao usarmos os recursos computacionais sem a devida orientação metodológica, muitas vezes essas estratégias se tornam apenas momentos de entretenimento do aluno em frente ao

computador devido à falta desse planejamento mais estruturado e baseado em princípios teóricos já bem estabelecidos.

Sabendo que a quantidade de referenciais teóricos e de metodologias e abordagens para o ensino abrange uma enormidade de autores e linhas diferentes para cada contexto de ensino-aprendizagem, iremos restringir nossa discussão aqui à inserção das atividades de modelagem e simulação computacional a apenas algumas dessas abordagens, que por sua vez já foram testadas e aplicadas no ensino da física e que podem servir de base para que o professor possa planejar as atividades com o uso do recurso computacional.

### **Métodos ativos de ensino**

A metodologia tradicional de ensinar física, que geralmente se resume a aulas expositivas com resolução de problemas no quadro gera nos alunos algumas atitudes que refletem um modelo passivo de aprendizagem, dentre elas citamos as que são destacadas por Barros, Remold, Silva e Tagliati (2004)

- Concentrar em memorização, ao invés do entendimento.
- Estudar nas vésperas de provas para obter notas, ao invés de conhecimentos.
- Utilizar para autoavaliação somente notas, ao invés de refletir sobre seu progresso.
- Compartmentalizar o conhecimento, ao invés de pensar no que sabe como um todo.
- Trabalhar sozinho, ao invés de articular ideias com seus colegas, solidificando-as.
- Tentar adivinhar a visão de mundo do professor, ao invés de repensar sua própria.

Partindo da necessidade de mudar esse quadro, nas últimas décadas, tem sido desenvolvidos novas metodologias educativas que busquem estimular um papel mais ativo do aluno no contexto da sala de aula tradicional, são os chamados “métodos ativos de ensino”, que inicialmente foram desenvolvidos e aplicados em universidades dos Estados Unidos e que hoje já estão em implantação em diversos outros países. O termo “métodos ativos de ensino” sugere uma metodologia na qual o professor não se restringe a ministrar os conteúdos em aulas expositivas e resolver problemas no quadro mas sim em discutir os principais pontos da teoria e na maior parte da aula propor atividades nas quais os alunos tenham uma participação efetiva. Grande parte desses métodos foi desenvolvida com o objetivo de reduzir os índices de evasão e reprovação em cursos de física geral. Dentre esses métodos podemos citar o método desenvolvido pelo Prof. Eric Mazur da Universidade de Harvard (MAZUR, 1997), chamado de Peer Instruction (Instrução pelos pares), o método Just-in-time-teaching (Ensino sob medida) desenvolvido e aplicado pelo Prof. Gregor Novak da universidade de Indiana (NOVAK *et al.*, 1999) e o chamado SCALE-UP, que é um método desenvolvido por Robert Beicher da Universidade Estadual da Carolina do Norte e que é adotado em diversas universidades ao redor do mundo, inclusive no Brasil com uma experiência de aplicação em disciplinas introdutórias de física geral no Instituto de Física da USP. Henrique, Prado e Vieira (2014) destacam que nesta última modalidade:

As aulas expositivas são substituídas por atividades projetadas para levar os alunos a observar fenômenos físicos, refletir sobre eles e discutir com seus colegas e com o professor até que o conceito foco seja efetivamente aprendido. As novas tecnologias vem novamente em auxílio a essas experiências.

Apesar de diferirem em alguns detalhes e também na forma de aplicação, esses métodos têm em comum o fato de se focarem na participação ativa dos alunos tirando o professor da função de transmissor do conhecimento e levando-o a ser um condutor do aluno na construção do seu próprio conhecimento, isto é, feito através da participação efetiva nas atividades em aula, no estudo prévio dos conteúdos e materiais disponibilizados pelo professor e na construção conjunta de respostas a problemas e questões propostas em sala a partir da problematização de situações experimentais ou computacionais, todas elas mediadas pelo professor. Entendemos que é nesse contexto e nessa direção que as atividades de modelagem e simulação computacional devem ser implementadas na sala de aula, no sentido de propiciar um engajamento e participação maior do aluno no processo de ensino. Para tanto, como já foi dito anteriormente, essas atividades devem ser estruturadas de modo que a interação entre o aluno, seus pares e o objeto de conhecimento seja efetivamente realizada de modo que o paradigma da simples transmissão de conhecimentos seja superado. Sabemos que essa transição não é fácil e que cada contexto educacional possui seus próprios desafios peculiares, mas acreditamos que nessa mudança está a raiz para a transformação do ensino. Mais uma vez destacamos que o tripé conteúdos e objetivos, ferramenta computacional e metodologia formam a base para um planejamento em que se queira superar o paradigma da simples transmissão de conteúdo.

### **A modelagem no contexto do ensino por investigação**

Uma visão de ensino que pode dar suporte para a aplicação das atividades com o uso do computador é o chamado ensino por investigação, que é uma abordagem que já vem sendo defendida há muito tempo no contexto do ensino de ciências como forma de propiciar um ensino mais dinâmico e que leva o aluno a um contato mais interativo e reflexivo

com o objeto de estudo. O termo ensino por investigação é muito amplo e geralmente é usado em contextos e situações diferentes, de uma forma geral podemos dizer que o ensino por investigação é uma abordagem que tem por objetivo a investigação de um dado fenômeno por parte dos alunos de modo que eles sejam levados a refletir, discutir entre si e com o professor, argumentar, e levantar hipóteses a partir de questões relevantes propostas pelo professor ou por eles mesmos. Nesta concepção, os estudantes conseguem desenvolver melhor a sua compreensão conceitual e aprendem mais acerca da ciência quando participam de atividades de investigação em que haja oportunidade e apoio para a reflexão (HUDSON, 1992 apud CARVALHO et al, 1999, p. 10). Para Carvalho (2014) uma atividade é chamada de investigativa quando ela está acompanhada de situações problematizadoras, questionadoras e de diálogo que por sua vez envolvam a resolução de problemas e a introdução e discussão de conceitos. Esse ensino por sua vez deve desenvolver habilidades que visem uma cultura científica, aproximando o aluno dos elementos-chave que constituem o fazer ciência, tal como a elaboração de hipóteses, a estruturação do pensamento, e a formalização do conhecimento a partir de sua sistematização numa linguagem próxima da ciência. Com isso, o ensino por investigação não é uma proposta que visa preparar o aluno para ser um futuro cientista, ou que ensine o aluno a fazer ciência propriamente dita mas fazer com que o aluno ao trabalhar com esse tipo de atividade desenvolva as suas habilidades cognitivas e sejam inseridos na chamada cultura científica, que por sua vez é um dos objetivos do ensino da física em nível médio, como destacado nos PCNs:

Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos

e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação.

Dessa forma a escola deve se reestruturar de modo a mudar a ênfase tradicional para que o professor atue mais como um guia e facilitador da aprendizagem visando apoiar e desenvolver essas atividades de investigação. O currículo, por sua vez, deve ser flexível e possibilitar sua adaptação e flexibilização de acordo com o contexto de ensino, e a aprendizagem deve ter um caráter colaborativo em que fontes múltiplas de consulta podem ser acessadas. Para tanto é necessária uma mudança não só no discurso pedagógico daqueles que exercem as lideranças nas escolas mas principalmente ações concretas para que o professor em sala de aula tenha todas as condições para desenvolver o ensino dentro desse paradigma.

Para inserir o ensino por investigação nas aulas de física, Carvalho (2013) propõe a construção de SEIs (Sequências de Ensino Investigativas), que são propostas organizadas de atividades investigativas planejadas para estudar determinado tópico e que têm como características fundamentais a liberdade de questionamento, a presença de situações problematizadoras, o levantamento de hipóteses, e o debate de ideias visando construir um conhecimento mais significativo. As atividades desenvolvidas nas SEIs podem utilizar ferramentas variadas, mas devem estar integradas de modo a alcançar os objetivos do ensino por investigação. Dentre as ferramentas que podem ser usadas na construção da SEI, Carvalho (2014) destaca, entre outras, o uso de atividades de simulação computacional como uma possível ferramenta para o desenvolvimento da sequência investigativa. Para que tenham um caráter investigativo, as atividades de simulação e modelagem computacional devem ser preparadas e planejadas de

modo que estimulem principalmente a característica problematizadora que essa modalidade de ensino possui. Arantes, Miranda e Studart (2010) enfatizam que em simulações mais elaboradas existe a possibilidade de se modificar diversas variáveis num dado fenômeno e observar os resultados provenientes dessas modificações podendo então os alunos testarem as suas hipóteses sobre o tal fenômeno ao executar a simulação. Pode-se também usar as simulações computacionais de forma conjunta com experimentos reais de modo a ampliar o grau de investigação nas situações de ensino, Dorneles (2010) apresenta uma proposta de ensino que integra o uso de atividades com o software Modellus com a realização de experimentos reais no contexto da aprendizagem de circuitos elétricos.

## **O método POE**

No contexto do ensino por investigação, temos uma abordagem que já tem sido utilizada no ensino de ciências (BALEN; NETZ, 2005; DORNELES; ARAÚJO; VEIT, 2006) que é o método Predizer, Observar e Explicar, ou método POE (TAO; GUNSTONE, 1999). Esse método pode ser utilizado tanto em situações experimentais como em atividades de simulação. Nessa concepção cada atividade é constituída de três etapas. Na primeira etapa, os alunos devem discutir a situação problema proposta e através dessa discussão devem prever o resultado esperado para um dado fenômeno, quer seja do experimento a ser realizado ou da simulação, ou seja, essa é a fase da formulação de hipóteses. Na segunda etapa, os alunos observam o que aconteceu durante e realização do experimento ou simulação e por último tentam explicar os resultados que foram encontrados de modo a corroborar ou não com as hipóteses feitas inicialmente. Em geral pode-se trabalhar com situações que gerem um conflito cognitivo de modo a promover uma mudança conceitual, essas situações de confronto que ocorrem entre o conhecimento inicial e o

novo conhecimento adquirido através da observação podem estimular os alunos a refletirem e buscar uma solução para o problema (TAO; GUNSTONE, 1999). Outro ponto importante dessa abordagem é o papel do erro na construção do conhecimento, aqui o erro não é visto como algo negativo mas ele é usado como ponto de partida para o desenvolvimento de novos conhecimentos. Para aplicar esta estratégia nas atividades de modelagem e simulação os alunos podem ser divididos em pequenos grupos onde cada grupo tem um computador a sua disposição. Um dado problema pode ser proposto a estes grupos com questões onde devem ser feitas hipóteses sobre o fenômeno descrito na simulação. Por exemplo, numa dada simulação sobre o movimento de um objeto preso a um fio que oscila em torno de um ponto de equilíbrio em baixas amplitudes, que geralmente é chamado de pêndulo simples, e pode se perguntar a partir dessa situação o que acontecerá com o período do pêndulo caso alguma das variáveis envolvidas seja modificada, como a massa do objeto, o comprimento do fio ou aceleração da gravidade. Os alunos devem ser motivados a discutirem entre si e a escreverem as hipóteses, e após a observação da simulação discutirem novamente sobre quais variáveis interferiram e quais não. Essa é uma boa forma de introduzir o estudo do tópico de um determinado assunto do que simplesmente começar já introduzindo as equações relativas ao tema, principalmente em nível médio em que o grau de abstração dos alunos é pequeno e a necessidade de tornar o objeto de estudo em algo mais concreto é fundamental. Esse foi apenas um exemplo no contexto da física onde podemos aplicar essa metodologia fazendo uso do recurso computacional. Se estivermos trabalhando com uma atividade com um caráter de modelagem, além das variáveis, os alunos também podem ser solicitados a modificarem ou até construírem o próprio modelo matemático, e a partir dessa construção e modificações inferirem sobre o comportamento do modelo e sobre o



resultado encontrado. Se ao final das discussões houver discrepância entre as hipóteses e a observação pode-se concluir que as hipóteses estavam equivocadas ou que houve falha na própria construção do modelo. Cabe sempre ao professor estar atento à atividade dos grupos de modo a intervir quando necessário de modo a conduzir o trabalho de construção coletiva do conhecimento.

## **A modelagem e a ferramenta V de Gowin**

Uma ferramenta heurística muito interessante que pode ser usada no trabalho com as atividades de simulação e modelagem computacional num caráter investigativo é o chamado diagrama V, ou diagrama epistemológico V, ou também V de Gowin, uma referência ao seu criador D. B. Gowin (1981), que propôs inicialmente o uso desse diagrama como uma ferramenta de análise de produção do conhecimento. O diagrama serve como base para a interação entre o campo conceitual e o campo metodológico na busca para a resposta de um problema ou de questões relacionadas a uma dada situação. No ensino de física, essa ferramenta tem sido utilizada tanto para abordar situações envolvendo a experimentação real de fenômenos físicos como também situações de modelagem e simulação computacional como nos trabalhos de Araújo (2002), que se utilizou do diagrama no estudo da cinemática e Ferracioli (2005), que adotou a estratégia para investigar concepções do senso comum na área de termodinâmica. A construção do diagrama V está baseada em itens que são usados para analisar um dado problema ou situação. Inicialmente no centro do V temos as questões foco que é o ponto de partida da pesquisa, ao lado esquerdo temos a parte do V relacionada com o domínio conceitual que engloba a filosofia, visão de mundo ou teoria geral que será usada para responder as questões foco. Em seguida temos as teorias, princípios e conceitos envolvidos na busca pela resposta e também as hipóteses iniciais sobre as questões foco. Na

base do V temos o evento que será realizado para encontrar a resposta, que pode ser a realização de um experimento, uma pesquisa bibliográfica ou a realização de uma simulação. Do lado direito do V temos a parte relacionada com o domínio metodológico, ou parte prática da pesquisa, que por sua vez envolvem os registros efetuados no evento e suas transformações e resultados, e por fim temos as asserções de conhecimento e asserções de valor, que são as respostas relativas às questões foco. A Figura 3.1 mostra um exemplo da estrutura do diagrama V proposto por Moreira (1997). Na figura temos a explicação em mais detalhes dos aspectos relativos a cada um dos itens do diagrama. Ao observá-lo percebemos que deve haver uma constante interação entre a parte teórica e a parte metodológica da pesquisa. Nas atividades investigativas podemos usar essa ferramenta como suporte para condução do processo de ensino-aprendizagem, pois a construção do V a partir de questões foco relacionadas a um evento da física de acordo ajuda no processo de questionamento em cada etapa da análise, que por sua vez se constitui em um instrumento norteador que pode assegurar a realização das metas estabelecidas (FERRACIOLI, 2005).

Podemos perceber também que existe uma permanente interação entre o lado conceitual e o lado metodológico de modo que a parte realizada no lado metodológico é guiada pelos itens do lado conceitual na busca da resposta das questões foco (ARAÚJO, VEIT e MOREIRA, 2006).

## O DIAGRAMA V

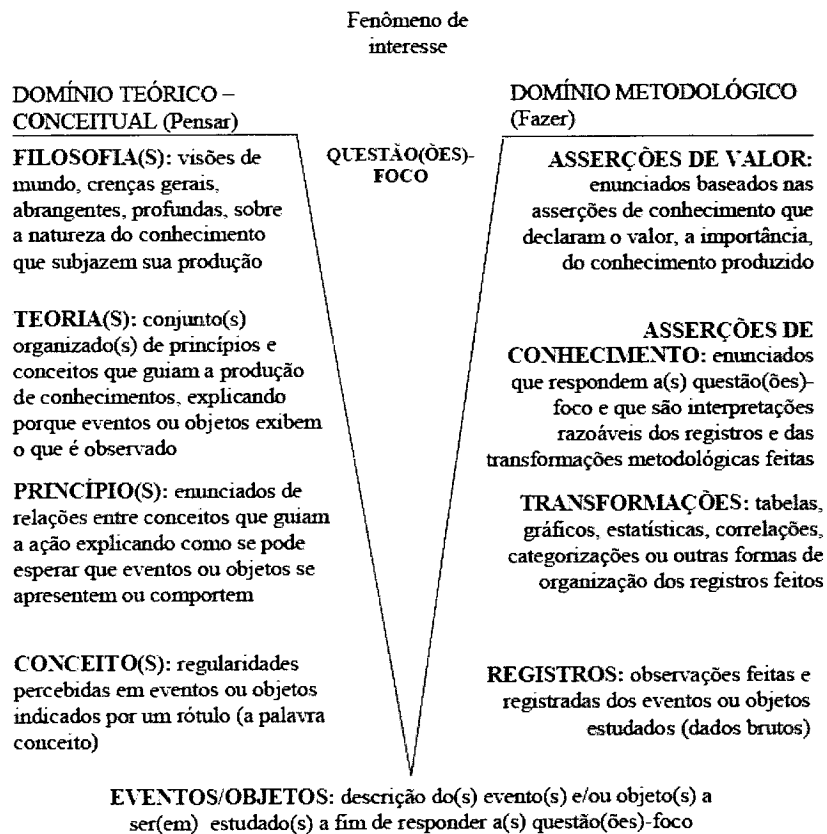


Figura 3.1 – Proposta de diagrama V epistemológico (MOREIRA, 1997)

Podemos então propor atividades de investigação usando essa ferramenta heurística de modo que o evento a ser realizado seja uma atividade de simulação ou modelagem computacional, em que o aluno deve ser instigado através das questões foco a questionar sobre as relações envolvidas no fenômeno em questão. Para isso, tanto as questões foco como a própria simulação devem ser adequadas de modo que propiciem a exploração desses aspectos nas atividades.

Na figura 3.2 apresentamos um exemplo simplificado que pode ser usado numa atividade investigativa usando o diagrama V, neste exemplo abordamos mais uma vez o

movimento oscilatório de um pêndulo simples a baixas amplitudes. O exemplo em questão já está preenchido, mas o professor pode propor aos alunos que se dividam em grupos pequenos e de posse do diagrama apenas com as questões foco e o evento a ser realizado possam através do que já viram em aulas anteriores ou também na pesquisa em materiais didáticos preencher a parte conceitual do diagrama e formular suas hipóteses. Em seguida, através da observação e exploração da simulação pelo grupo de alunos, eles podem preencher a parte metodológica chegando até a resposta da questão foco. Pode-se também dar um grau de liberdade maior aos alunos permitindo que eles mesmos escolham a questão ou as questões foco que eles queiram abordar no fenômeno.

O diagrama por sua vez pode ser adaptado dependendo das características e necessidade do grupo de alunos envolvidos e alguns termos também podem ser trocados levando a uma linguagem mais simples que se adequam melhor ao entendimento dos alunos, alguns por exemplo trocam os termos asserções de conhecimento e valor por conclusões de modo a simplificar a linguagem e tornar os elementos do diagrama mais compreensíveis aos alunos. O importante é que a ferramenta contribua significativamente para um ensino mais investigativo e engajado por parte dos estudantes.

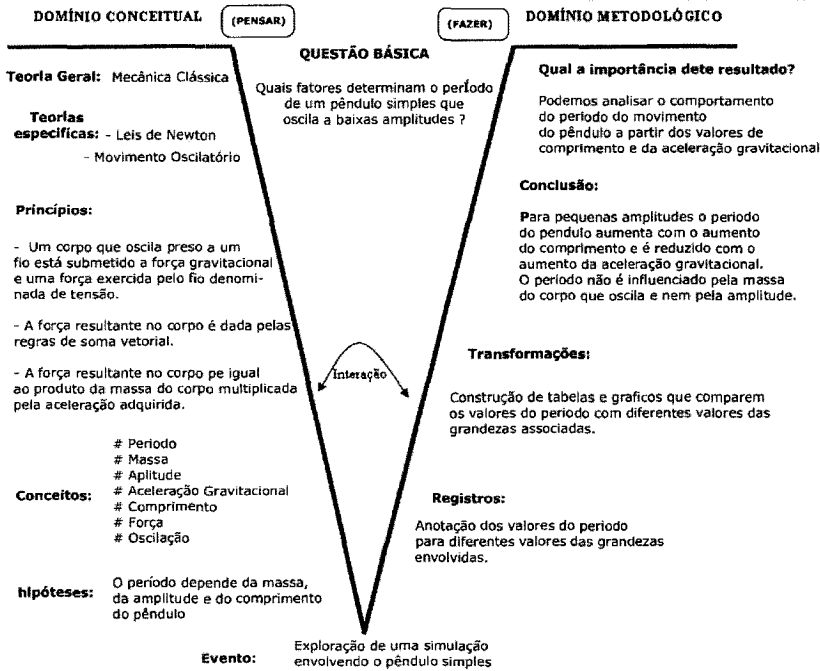


Figura 3.2 – Diagrama V proposto para uma atividade de simulação envolvendo o movimento de um pêndulo simples.

Como já foi dito, o diagrama V tem sido muito utilizado em situações de ensino tanto em física como em outras áreas, nos níveis médio e superior, abordamos aqui a aplicação do V de forma bem sucinta. Caso o leitor queira se aprofundar nesse tópico, sugerimos a leitura de outras bibliografias que tratam especificamente do tema – Moreira (1997) e Ferracioli (2005).

No próximo capítulo vamos falar especificamente sobre a ferramenta de modelagem e simulação computacional Modellus, descrevendo mais detalhadamente suas principais características, funcionalidades e potencialidades. Voltaremos a abordar questões metodológicas em outros capítulos, fazendo a integração com algumas propostas de atividades práticas.



# O programa Modellus

O objetivo deste capítulo é dar um panorama geral sobre o programa Modellus e ensinar de forma introdutória como manipular as principais ferramentas desse software computacional. No próximo capítulo faremos a construção passo a passo de um modelo para uma situação física.

Como já foi dito, o programa Modellus é um software livre criado para fins educacionais na área de ensino de ciências e matemática, desenvolvido inicialmente por Vitor Duarte Teodoro da Universidade de Lisboa em Portugal com a colaboração de João Paulo Duque Vieira e Felipe Costa Clérico. Desde sua primeira versão o programa já passou por várias atualizações e atualmente as versões mais usadas são X 4.05 e 4.01 (a última é a versão que será utilizada ao longo do texto). Atualmente quem desenvolve o programa é Pedro Duque Vieira, que conta com a colaboração de outros profissionais na tradução para outras línguas e também na implementação em múltiplas plataformas. O programa pode ser baixado gratuitamente em sua página na internet no endereço [www.modellus.com](http://www.modellus.com), em diversas versões e para vários sistemas computacionais (Windows, Linux e MAC OS), é

necessário que se tenha uma versão do programa Java instalado para que o computador execute o software. Nessa página são encontradas informações adicionais sobre o programa e sobre a equipe que o desenvolve e também alguns exemplos de modelos prontos para serem usados em sala de aula.

A ideia básica do programa é criar uma animação através de um modelo matemático relativo a um fenômeno natural através do uso das equações que regem tal fenômeno. Para tanto, o programa cria links entre essas equações com os elementos interativos que o programa oferece, tais como uma partícula, um vetor, ou uma imagem, de modo que a situação física possa ser animada. O Programa também possui saídas gráficas que permitem a análise das relações entre as diversas variáveis de um dado modelo. Apresentamos a seguir, na Figura 4.1, a tela de entrada do programa, onde o usuário pode começar a interagir com a ferramenta.

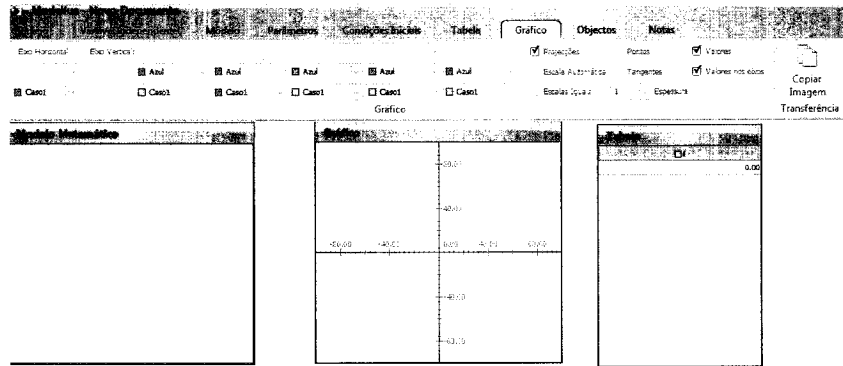


Figura 4.1 – Área de trabalho do programa Modellus na versão 4.01

O programa possui várias janelas que permitem a navegação do usuário e que possibilitam a inserção das ferramentas que o programa possui. Destacamos aqui algumas das principais janelas que ficam na parte superior da tela principal do programa:



- 1) Início: É onde o usuário tem a opção de começar um novo modelo, abrir um já existente ou salvar um modelo construído.
- 2) Modelo: Fornece opções de funções ou constantes que podem ser inseridas no modelo, tais como exponenciais, raiz quadrada e outras.
- 3) Parâmetros: É onde o usuário coloca valores numéricos para as grandezas envolvidas nos modelos.
- 4) Objetos: Permite ao usuário inserir partículas, vetores, imagens e até textos na tela principal do programa.
- 5) Gráficos: Fornece o controle dos gráficos que serão utilizados na construção do modelo.

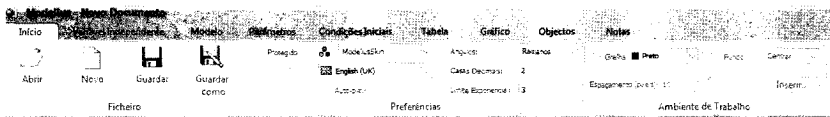


Figura 4.2: Janelas do programa Modellus.

A Figura 4.2 mostra a barra na qual essas janelas podem ser acessadas, na figura temos em destaque a janela “Início”. Essas janelas dão acesso às principais funcionalidades que o programa oferece, comentaremos sobre outras ferramentas do software no decorrer do texto. Faremos a seguir uma descrição de cada uma dessas janelas do programa de modo que o leitor entenda como elas funcionam e como devem ser usadas para se construir um modelo.

## Modelo Matemático

A caixa de comando principal do programa é a intitulada “Modelo Matemático”. Ela fica logo abaixo da barra de Ferramentas do programa, nela podemos escrever as equações do fenômeno que queremos estudar e a partir daí

fornecer também os valores para as variáveis envolvidas na modelagem.

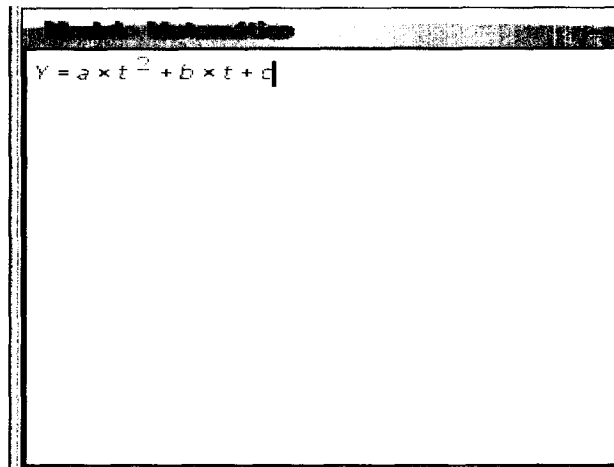


Figura 4.3 – Área de escrita das Equações denominada de “Modelo matemático”.

Nesse exemplo destacado na Figura 4.3 temos a escrita de uma equação do segundo grau com y em função de t sendo que a, b e c são constantes, onde o símbolo x representa a operação de multiplicação, no programa ele é utilizado a partir da tecla asterisco ou espaço dependendo do teclado do computador. Clicando na janela “Parâmetros” podemos fornecer valores para as grandezas, neste caso, as constantes a, b e c.

The image shows a window titled "Parâmetros" with a table of values. The table has columns for parameter names (a, b, c) and numerical values. The values for a, b, and c are 5.00, 2.00, and 3.00 respectively. There are also columns for "Gráfico" and "Objectos" with values 0.00 and 0.00. The table is part of a larger interface with other tabs like "Equações", "Tabela", "Gráfico", "Objectos", and "Notas".

	Parâmetros	Equações	Tabela	Gráfico	Objectos	Notas
a =	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b =	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
c =	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 4.4 – Janela referente aos valores dos parâmetros.

O programa nos dá a opção de analisarmos para a mesma equação vários conjuntos numéricos de valores para os parâmetros, nesse caso para as constantes a, b, c. Vemos na Figura 4.4 os valores preenchidos apenas para o 1º caso

com  $a = 5$ ,  $b = 2$  e  $c = 3$  e temos a possibilidade de preenchermos outros 10 conjuntos de valores. Isso permite uma maior amplitude na exploração dos modelos propostos que foram criados dentro do programa.

Na janela “objetos” temos a opção de inserir na tela principal alguns itens que estão ligados com a animação do modelo. Esses itens são importantes pois serão usados na animação do fenômeno abordado. Os principais itens que podem ser inseridos como animação do modelo são:

- \* Partículas
- \* Vetores
- \* Caneta
- \* Texto
- \* Indicador de nível
- \* Analógico
- \* Variável
- \* Imagem
- \* Objeto geométrico
- \* Origem.

Os itens aparecem na janela “objeto” conforme ilustrado na Figura 4.5. Para criar e utilizar qualquer um desses itens na área de trabalho basta clicar no item correspondente na janela “objeto” e em seguida clicar na área de trabalho, dessa forma o item aparece e pode ser manipulado.

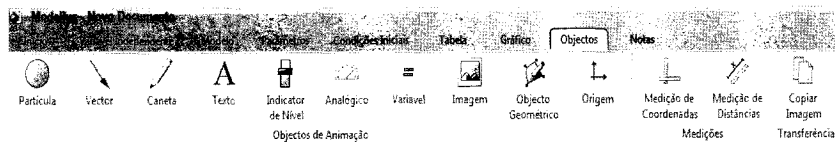


Figura 4.5 – Janela “Objetos”.

Vamos descrever agora cada um desses itens de animação do modelo.

## Criando Partículas

A janela fornece várias opções de partículas (figuras) que podem ser criadas de acordo com o modelo que será usado, como um automóvel, um avião, a Terra, a Lua, uma menina, uma bola de futebol entre outras. Podemos usar o número de partículas que necessitarmos relacionando-as com as equações do modelo matemático.

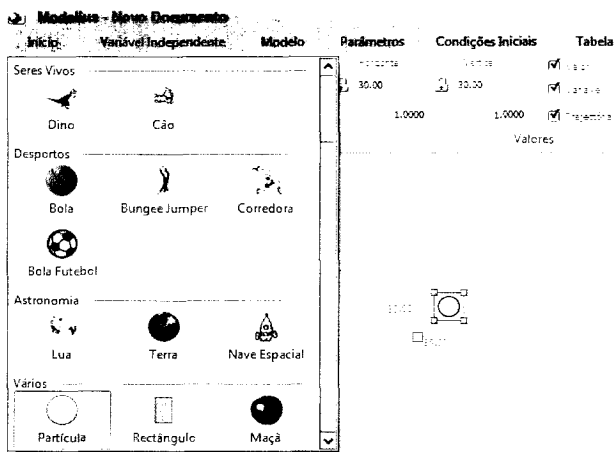


Figura 4.6 – Criação de uma partícula na área de trabalho

Na Figura 4.6 podemos visualizar os tipos de imagens que podemos usar para as partículas.

## Criando Vetores

Na física sabemos que os vetores são de grande importância para descrever alguns tipos de grandezas como força, velocidade e aceleração. Nessa opção podemos inserir um ou mais vetores que irão representar as grandezas vetoriais do modelo, em seguida eles podem ser ligados a uma dada variável e possibilitam a visualização em termos de um vetor em uma ou duas dimensões.

## **Caneta**

Ao inserir uma caneta na área de trabalho ela permite a escrita de uma ou mais variáveis no formato de um gráfico com duas coordenadas, permitindo assim a visualização das relações numéricas entre as grandezas.

## **Texto**

Nessa opção podemos escrever um texto dentro da área de trabalho. Esse texto pode ser uma explicação sobre o modelo, um problema proposto, ou questões que devem ser respondidas pelos alunos com base na análise do modelo.

## **Indicador de Nível**

O indicador de nível é um recurso que permite a alteração direta dos valores de um parâmetro do modelo na própria área de trabalho, ela é muito útil ao se trabalhar uma atividade de exploração onde o alunos precisam mudar os valores iniciais de modo a analisar o comportamento resultante do modelo, ela permite a fixação de valores máximos e mínimos para uma dada grandeza.

## **Analógico e Variável**

Esses dois recursos mostram a variação temporal de uma dada grandeza do modelo, o primeiro mostra essa variação através de um relógio, já o segundo mostra a variação numérica da variável.

## **Imagem**

Essa opção é muito usada para ajudar na animação e ilustração de um modelo, pois ela permite a inserção de uma imagem externa ao programa, que por sua vez esteja salva em alguma pasta do computador. Ela pode ser usada para

relacionar os objetos com as variáveis descritas no modelo matemático.

### **Objeto Geométrico**

Esse item permite a construção de alguns elementos geométricos como retas, pontos ou círculos também com o intuito de ajudar na animação e ilustração do fenômeno envolvido, as retas por exemplo podem auxiliar na animação do modelo servindo de base ou “chão” para alguma partícula que se movimenta ao longo de uma superfície.

### **Origem**

A função dessa ferramenta é desenhar o sistema de coordenadas cartesiano e analisar as relações entre duas grandezas do modelo em termos de coordenadas ( $x$  e  $y$ , por exemplo).

### **Ligando as grandezas aos elementos de animação**

Para termos uma animação de fato, temos que ligar os objetos de animação (partículas, imagens ou vetores) com as variáveis do modelo proposto. Para fazer essa ligação basta clicarmos em cima do objeto que queremos animar e nesse momento uma janela será aberta na barra de ferramentas e a partir dela poderemos fazer a ligação. O programa trabalha com a animação em termos das coordenadas verticais ( $y$ ) e horizontais ( $x$ ). Na barra de ferramentas relativa ao objeto que vamos animar, podemos relacionar cada uma dessas coordenadas a uma dada variável que pertence ao modelo matemático escrito. Ao clicarmos em uma das coordenadas ( $y$  ou  $x$ ), o programa permite que você escolha a qual variável você quer ligar o dado elemento de animação. Por exemplo, imagine que queremos criar um vetor relativo à velocidade resultante de um corpo que se movimenta nas duas dimensões, ligamos então a componente horizontal desse vetor à

variável  $V_x$  e a componente vertical desse vetor à variável  $V_y$ , lembrando que essas duas variáveis precisam fazer parte do modelo matemático, se não a barra de ferramentas não fornecerá essas variáveis como opção. Podemos também fazer a ligação de dois objetos entre si, como por exemplo ligar o vetor da velocidade resultante a uma partícula que por sua vez estará ligada a uma variável de posição, ou também ligar um vetor a uma imagem. Essas ligações permitem que o comportamento do fenômeno estudado seja observado com mais detalhes e através de mais elementos. Na Figura 4.7, é ilustrada a situação de um vetor unidimensional ligada a uma partícula.

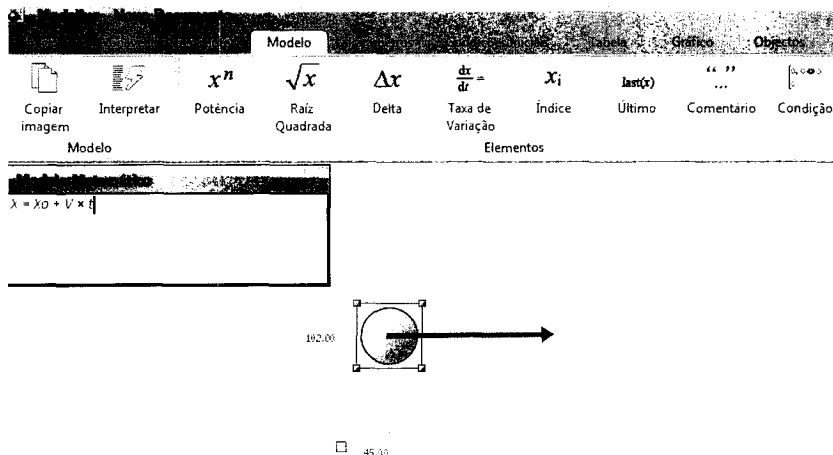


Figura 4.7 – Vetor ligado a uma partícula

Nesse caso temos que o modelo matemático é dado por  $x=x_0+v.t$ , (escrito apenas de forma escalar) onde  $x$  representa a posição,  $x_0$  a posição inicial,  $V$  a velocidade e  $t$  o tempo. Criamos então dois objetos, uma partícula e um vetor. A partícula tem a sua coordenada horizontal dada por  $x$  e a coordenada vertical igual a zero. O vetor irá representar a velocidade, logo a sua coordenada horizontal será  $v$  e a sua coordenada vertical será igual a zero. Por fim ligamos o vetor à partícula, para isso basta clicar em cima do vetor e na barra de ferramentas no canto superior direito aparecerá a opção

“ligar objeto a”, clicando nela o programa mostrará as opções de ligação, que envolvem todos os objetos do modelo, nesse caso é feita a ligação com a partícula inicialmente criada. Após isso podemos acionar a animação através do botão que fica no canto inferior esquerdo, a partícula executará um movimento regido pela equação matemática escrita no modelo, que nesse caso é o que chamamos de movimento em uma dimensão com velocidade constante, ou movimento retilíneo uniforme.

Vale destacar aqui, que o iniciante no uso do Modellus poderá encontrar algumas dificuldades em seu manuseio no que se refere à manipulação de suas ferramentas e funcionalidades, isso é normal e à medida que o usuário manipular o software com mais frequência essas dificuldades desaparecerão. Uma situação que geralmente acontece com o uso do programa e que se deve estar atento principalmente se for uma atividade onde o modelo será exposto para um grupo de alunos é a questão da configuração da tela do computador. Quando se constrói uma simulação do Modellus usando figuras, partículas gráficos e tabelas, a distribuição desses elementos será feita de acordo com a configuração de tela do computador na qual o modelo foi construído, se esse modelo for usado em um outro computador a distribuição das figuras poderá ser alterada por uma possível diferença na configuração de tela do computador no qual se está usando o programa, ou também se estiver sendo usado um projetor de vídeo, no qual a configuração muitas vezes é ajustada automaticamente. Devido a isso o professor deve ter o cuidado de verificar essas diferenças e se for o caso fazer o ajuste nas imagens e elementos de simulação para que a sua apresentação não fique prejudicada. Um outro detalhe de utilização que deve ser ressaltado é o fato de que mudanças nos valores dos parâmetros e variáveis só podem ser feitas se a simulação em andamento ou pausada, ou seja quando a variável independente, que em geral é o tempo, estiver zerada. Em



relação ao uso das versões é importante também ressaltar que os modelos construídos na versão X 4.0.5 não rodam na versão 4.01, porém os construídos na versão 4.01 rodam na versão X 4.05, porém em geral acaba acontecendo uma desconfiguração das imagens e dos ícones utilizados. No texto iremos utilizar construções feitas na versão 4.01.

Com essas orientações básicas já é possível construir um modelo matemático através de uma ou mais equações e criar uma animação para esse modelo através dos objetos e de sua ligação com as variáveis do modelo matemático. No próximo capítulo iremos explicar com mais detalhes a construção passo a passo de dois modelos físicos e suas respectivas animações, para que o leitor tenha mais clareza no que diz respeito ao processo de construção.



# Construindo Modelos

**A** construção de um modelo com sua animação dentro do programa Modellus pode ser feita por qualquer tipo de usuário pois não é necessário que se tenha nenhum conhecimento de programação para criar um simulação. É claro que o grau de complexidade da animação, simulação ou modelo, vai exigir, por parte daquele que o constrói, um maior grau de habilidade no manuseio do programa. O objetivo desse capítulo é ensinar de forma introdutória como construir modelos e animações simples dentro do programa e nos próximos capítulos iremos apresentar modelos um pouco mais sofisticados. Vale ressaltar aqui que as simulações desenvolvidas nesse programa são mais adequadas na física aos tópicos relativos à área de mecânica, pois as ferramentas de animações do software são mais propícias a modelos onde existe algum tipo de movimento, nada impede de que se trabalhe com outras áreas da física, até porque a mecânica acaba estando presente em praticamente todas as outras áreas da física, porém o leitor irá perceber que as animações que envolvem movimento são facilmente animadas no programa. À medida que um usuário da ferramenta vai construindo seus modelos e se familiarizando com

o programa e suas funcionalidades, pode aprimorar essa habilidade de modo a construir modelos cada vez mais complexos e abrangentes dos fenômenos físicos. O Modellus permite a construção de modelos simples como a queda de um corpo que envolve poucas variáveis, como de modelos mais complexos como a oscilação amortecida de um corpo preso a uma mola, que por sua vez envolve várias variáveis.

Em nossas aplicações de uso do MODELLUS com alunos do ensino médio e também do ensino superior, temos percebido que quanto mais os alunos fazem uso do programa, maior é a qualidade e a complexidade dos modelos e simulações construídas por eles. Nos últimos anos temos realizado atividades com essa ferramenta nas aulas de física para o ensino médio e também nas aulas de física básica para o curso de licenciatura em física e também na graduação em engenharias e os resultados em termos de aprendizagem e participação dos alunos têm sido muito satisfatórios.

### **Passos para a construção de uma simulação no programa Modellus.**

A construção de um modelo e de sua animação com a ferramenta Modellus segue basicamente quatro passos. O primeiro passo é a escrita das equações na janela modelo matemático do programa, o segundo passo é a interpretação do modelo que é o momento onde fornecemos valores numéricos aos parâmetros estabelecidos, ou condições iniciais como costumamos chamar na física. O terceiro passo é a inserção dos objetos e ícones que serão parte da animação e o quarto passo é a ligação entre os objetos criados e as variáveis e equações do modelo. A seguir vamos descrever passo a passo a construção de uma simulação simples envolvendo um modelo físico.

## **Modelando um movimento em uma dimensão com aceleração constante.**

No estudo da física na escola secundária, tradicionalmente uma das primeiras matérias que os alunos têm contato é a chamada cinemática, que nada mais é do que estudo da descrição dos movimentos dos corpos. Um movimento típico que é estudado nesses cursos é o movimento em uma dimensão com aceleração constante, que geralmente é chamado de movimento retilíneo uniformemente variado. Nesse movimento a velocidade do corpo é alterada devido à presença de uma aceleração e essa alteração ocorre sempre nas mesmas quantidades para os mesmos intervalos de tempo, por isso se diz que ele é uniformemente variado. Vamos descrever a seguir como construir um modelo e uma animação desse modelo usando a ferramenta Modellus.

### *Passo 1 – Escrevendo as Equações:*

A primeira coisa a se fazer para construir o modelo é escrever as equações relativas a ele no modelo matemático. As equações matemáticas são escritas na forma escalar e o programa se utiliza do sistema de coordenadas cartesianas para descrever os fenômenos de modo que na vertical para cima como sendo o sentido positivo para o eixo Y e na horizontal para direita como sendo o sentido positivo do eixo X. A origem pode ser definida em qualquer ponto na área de trabalho. Dessa forma usaremos as equações na sua forma escalar ao longo do texto e quando for necessário explicitaremos as formas vetoriais. Esse fenômeno tem uma modelagem matemática razoavelmente simples, e as equações desse movimento podem ser escritas da seguinte forma:

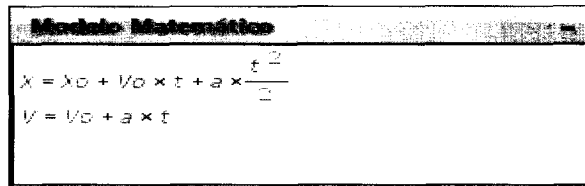
$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_0 + \mathbf{V}_0.t + a.t^2/2$$

**(Equação 1 – Posição em função do tempo)**

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_0 + a.t$$

**(Equação 2 – Velocidade em função do tempo)**

Nesse caso,  $X$  é a posição da partícula num instante de tempo  $t$ ,  $V$  é a velocidade da partícula num instante de tempo  $t$ ,  $X_0$  e  $V_0$  são as posições e velocidades iniciais da partícula e  $a$  é a sua aceleração. Para começar a construção escrevemos então essas duas equações na janela modelo matemático do programa como mostrado na Figura 5.1.



The screenshot shows a window titled "Modelo Matemático" with the following equations:

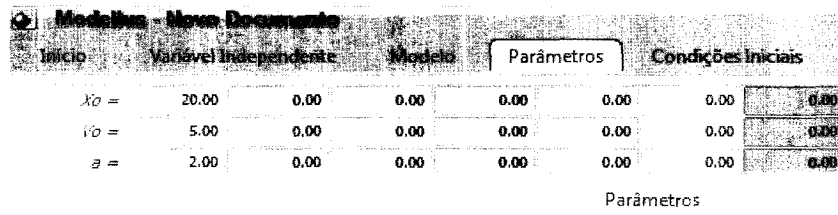
$$X = X_0 + V_0 \times t + a \times \frac{t^2}{2}$$

$$V = V_0 + a \times t$$

Figura 5.1 – Escrevendo as equações do modelo matemático

### Passo 2 – Inserindo Valores

A seguir clicamos no botão “interpretar” que fica na barra de ferramentas localizada na parte superior da tela e preenchemos os valores que queremos para os parâmetros do modelo, nesse caso os parâmetros são  $X_0$ ,  $V_0$  e  $a$ . O programa já assume inicialmente que “ $t$ ” é a variável independente. Podemos também escolher outra variável para ser a variável independente. Nesse caso vamos inserir  $X_0=20\text{m}$ ,  $V_0=5\text{m/s}$  e  $a=2\text{m/s}^2$  como é mostrado na Figura 5.2.



Início	Variável Independente	Modelo	Parâmetros		Condições Iniciais	
$X_0 =$	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$V_0 =$	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$a =$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Parâmetros

Figura 5.2 – Inserindo os valores na janela parâmetros.

Vale ressaltar que o programa não entende as relações de unidades de dimensão mas apenas relações numéricas, logo, devemos inserir os valores sempre considerando as unidades como sendo compatíveis. Nesse caso estamos usando as unidades no sistema internacional.

### Passo 3 – Criando os objetos

O próximo passo é criar os objetos que vamos utilizar na animação. Nesse caso vamos usar aqui uma partícula que executará o movimento, um vetor para representar a velocidade e um outro vetor para representar a aceleração com está ilustrado na Figura 5.3.

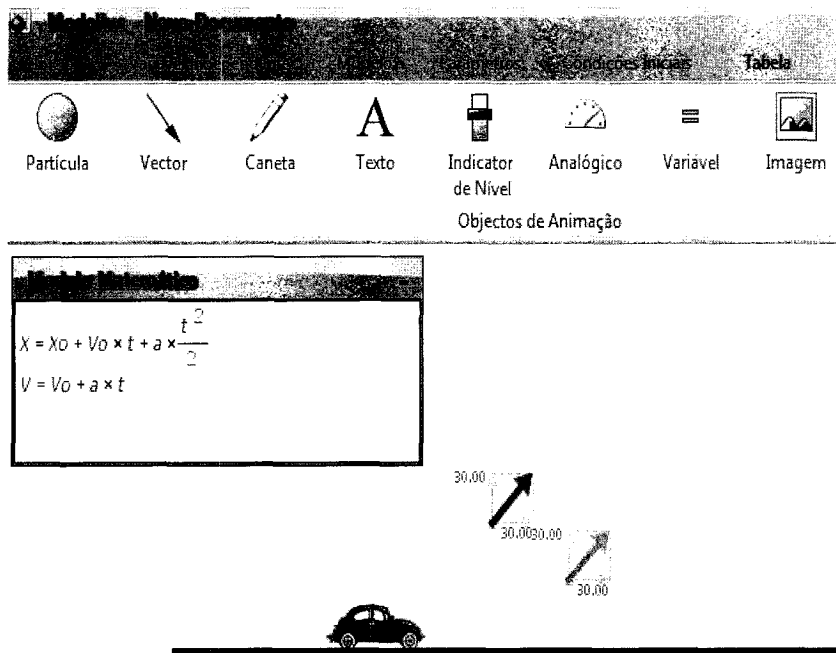


Figura 5.3 – Inserindo objetos para a animação.

Como já foi mencionado antes, para introduzir os objetos basta ir na janela “objetos” na barra de ferramentas superior, clicar no objeto que se quer inserir e clicar em seguida na área de trabalho. Escolhemos aqui um automóvel para executar o movimento, uma reta que será a superfície na qual o automóvel executará o movimento e também dois vetores para representar a velocidade e a aceleração. Podemos habilitar ou desabilitar algumas opções relativas ao que queremos que apareça junto com o objeto de animação, tais como valor, variável, trajetória, eixos, projeções, deixar uma marca a cada número de passos e nome. Quando clicamos no objeto

em questão essas opções aparecem conforme ilustrado na Figura 5.4, onde vemos todas as opções habilitadas.

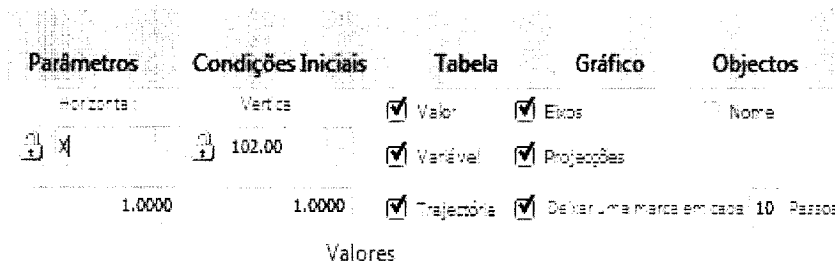


Figura 5.4 – Habilitando informações que acompanham os objetos de animação.

#### Passo 4 – Ligando as variáveis aos objetos

Para que o corpo execute uma animação de acordo com as equações, temos que fazer a ligação entre os objetos e as variáveis utilizadas e se necessário ajustarmos as escalas de cada um deles. Para ligar um objeto a uma variável basta clicarmos em cima do objeto escolhido e o programa irá mostrar uma janela na parte superior com as possibilidades de animação para aquele objeto. Como já foi dito anteriormente, o programa trabalha basicamente com a animação de um corpo baseado nas coordenadas horizontal e vertical, quando clicamos nesses botões na janela superior ele informa todas as variáveis disponíveis para o modelo em questão.

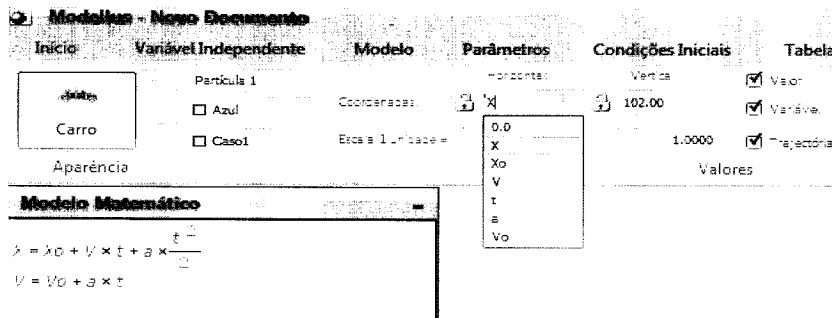


Figura 5.5 – Associando as coordenadas Horizontal e Vertical.



No exemplo mostrado na Figura 5.5, ao clicarmos na partícula carro, temos a opção de ligar essa partícula às variáveis disponíveis no modelo. Nessa situação ligamos então a coordenada horizontal da partícula (que nesse caso é o automóvel) à variável “X”, e como o corpo não vai realizar nenhum movimento na vertical não precisamos preencher essa coordenada, podemos apenas atribuir algum valor a ela, que será a posição vertical na tela onde o corpo vai desenvolver o seu movimento, mas lembrando que esse valor será constante ao longo do movimento. Para melhor visualizar a simulação, pode ser que seja necessário fazer um ajuste na escala relativa às variáveis de modo que o espaço da área de trabalho seja melhor utilizado, dessa forma a escala pode ser aumentada (usando valores maiores que 1) ou reduzida (usando valores menores que 1), de modo a adequar a animação ao espaço de tela disponível. Para ajustar a escala para um dado elemento de animação, basta clicar em cima desse objeto e na barra de ferramentas aparecerá a opção de alterar a escala tanto na coordenada horizontal como na vertical, conforme ilustrado na Figura 5.5.

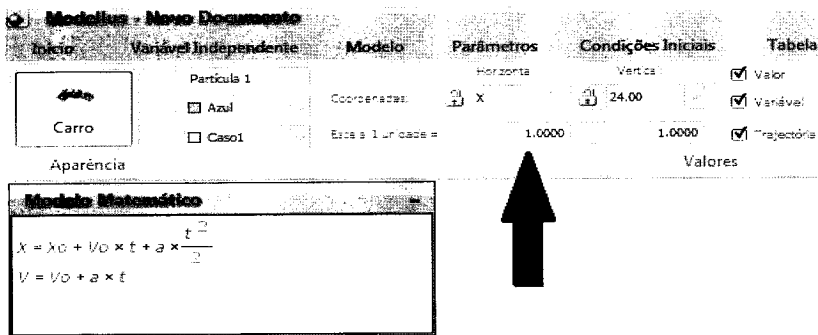


Figura 5.6 – Ajuste de Escala.

Para o vetor velocidade ligamos sua coordenada horizontal à variável “V” e na sua coordenada vertical inserimos zero, para o vetor aceleração ligamos a coordenada horizontal à variável “a” e na coordenada vertical inserimos zero. Em seguida ligamos os dois vetores à partícula, para ligar os

objetos entre si basta clicarmos no botão “Ligar objeto a”, que fica no canto superior direito da mesma janela, que ele dará a opção de ligação entre os objetos. Para visualizarmos as relações entre as variáveis podemos usar a janela “gráfico” e escolher quais variáveis queremos ver na janela. Na Figura 5.7 mostramos a simulação já finalizada com os gráficos da posição e velocidade em função do tempo.

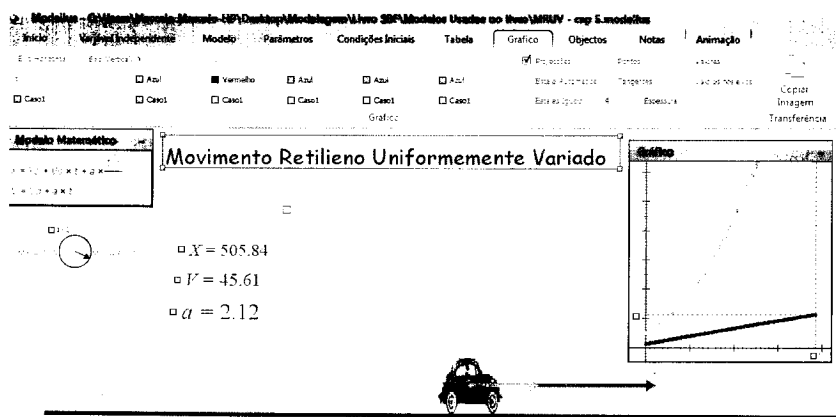


Figura 5.7 – Animação do Movimento

A princípio o programa sempre faz o gráfico de uma dada variável em relação ao tempo, mas também temos a opção de ver o gráfico de uma variável em relação a outra que não seja o tempo. Para que a simulação seja iniciada, basta clicar no botão que fica no canto inferior esquerdo. Na Figura 5.7 também podemos ver o gráfico da posição em relação ao tempo que no mostra o comportamento parabólico, e também o gráfico da velocidade em relação ao tempo que nesse caso é uma reta crescente. Criamos também um texto que mostra o título do modelo estudado. Esses textos também podem ser usadas para dar informações adicionais ao alunos ou também para propor questões a serem trabalhadas usando a simulação. Acrescentamos ícones que mostram as variáveis posição, velocidade e aceleração e também um relógio que mostra a evolução do tempo à medida que o modelo é executado. Esses itens adicionais também podem ser inseridos

a partir da janela objetos. Apresentaremos nos capítulos 8 e 9 mais exemplos de aplicação de modelos e animações que podem ser utilizadas no contexto da física do ensino médio e superior. No próximo capítulo iremos nos aprofundar na construção de modelos ensinando o leitor a trabalhar com uma outra funcionalidade do programa Modellus, que possibilita a mudança das condições do fenômeno ao longo de sua execução.



# Construindo modelos com condições

**E**m muitas situações-problema analisadas no contexto da física é comum que o fenômeno em questão tenha suas características modificadas ao decorrer do tempo, como por exemplo um objeto que se movimenta sem aceleração e de repente passa a adquirir uma aceleração devido à presença de uma força resultante não nula, fruto por exemplo de uma frenagem ou outro fator externo. Ou de um corpo que desliza num plano inclinado e chegando ao nível mais baixo passa a se movimentar numa pista horizontal. Essa e outras situações são abordadas a partir das modificações impostas ao sistema que se está analisando. Geralmente, quando se usa lápis e papel para abordar essas situações, dividimos o problema em si em partes e analisamos as variáveis que atuam em cada fase do fenômeno para poder fazer a sua descrição. Essa separação é muito útil para fazer a análise do problema, como também para responder as questões que são propostas a partir do fenômeno, e é uma estratégia muito utilizada pelos professores de física ao resolver os problemas usando o tradicional quadro e giz. Num modelo que envolve situações desse tipo, podemos construir a animação usando

a ferramenta “condições” do programa Modellus. Clicando na janela modelo, a função condição aparece como uma das opções na janela. A Figura 6.1 mostra em destaque essa função dentro da janela.

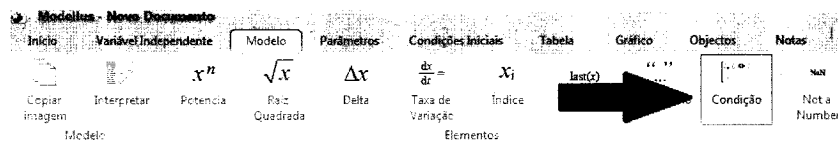


Figura 6.1 – Função condição dentro da janela modelo

Para usar a função condição basta clicarmos nela logo após ter escrito a variável no modelo matemático a qual se quer inserir uma condição. Vamos descrever inicialmente um exemplo bem simples. Suponha que eu queira que um dado corpo em movimento execute inicialmente um movimento numa pista reta com velocidade constante, mas que depois de um certo tempo esse movimento tenha a sua velocidade reduzida devido a uma desaceleração. Podemos então, inserir uma condição de modo que a aceleração seja igual a zero até um certo tempo, e que ela assuma um dado valor após este tempo. Escrevemos então a variável “a” no modelo matemático, escrevemos o sinal de igual e em seguida acionamos a função condição. Nesse momento irá aparecer um colchete após o sinal de igual, nesse caso escrevemos  $a = 0$  para  $t$  menor que  $t1$ , onde  $t1$  seria o tempo em que o corpo vai se movimentar com velocidade constante e  $a=a1$  para  $t$  maior ou igual a  $t1$ . Os valores da aceleração e desse tempo  $t1$  serão definidos ao interpretarmos o modelo. A Figura 6.2 mostra a escrita no modelo matemático para essa situação.

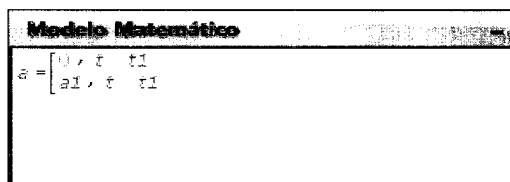


Figura 6.2 – Escrevendo uma condição para a aceleração

As condições podem ser inseridas não só em relação ao tempo, mas também em relação à posição ou qualquer outra variável dinâmica dentro do fenômeno que se queira abordar. Em seguida podemos escrever as outras equações relativas ao movimento do corpo, e onde aparecer a variável “a” o programa irá interpretá-la com dois valores, um para t menor que t1 e outro para t maior ou igual a t1.

## **Construindo um modelo com condições**

Para ilustrar melhor o uso das condições, vamos construir um modelo baseado em um problema de física elementar que pode ser modelado e animado usando a função condições. O enunciado do problema é o seguinte:

Duas estações de trem estão separadas por uma distância de 1km. A máxima que pode ser desenvolvida pelo trem é de  $1,1\text{m/s}^2$ . Determine o tempo mínimo gasto pelo trem entre as duas estações e também a velocidade máxima alcançada pelo trem.

Para tratar desse problema na sala de aula usando o programa Modellus, o professor pode fazer uso de uma das estratégias descritas no capítulo 2 para trabalhar num contexto mais dinâmico e concreto em relação ao objeto de estudo. Nesse caso o problema pode ser tratado em duas etapas, a primeira etapa como sendo a etapa de aceleração partindo do repouso até que o trem atinja velocidade máxima no momento em que chega na metade da distância entre as estações e a segunda etapa que é a desaceleração que vai da velocidade máxima até o repouso na estação seguinte. Para modelar essa situação escrevemos as equações com suas respectivas condições.

- Posição e velocidade para o trecho acelerado:

$$\mathbf{X = a.t^2/2 \text{ para } t \text{ menor que } t_1}$$

$$\mathbf{V = a.t \text{ para } t \text{ menor que } t_1}$$

Onde  $t_1$  é o tempo para se chegar à metade da distância entre as estações.

- Posição e velocidade para o trecho desacelerado:

$$\mathbf{X = a(t_1)^2/2 + V_{max} \cdot (t - t_1) - a \cdot (t - t_1)^2/2}$$

$$\mathbf{V = V_{max} - a \cdot (t - t_1)}$$

Na escrita dessas equações, referente à segunda parte temos que ter um certo cuidado, pois o corpo iniciará um novo movimento com condições iniciais diferentes, ele terá uma posição inicial diferente de zero e uma velocidade inicial também diferente de zero, que nesse caso é a velocidade máxima. A posição inicial da segunda parte do movimento será a distância que foi percorrida até  $t_1$ , logo, isso será  $a.(t_1)^2/2$ . Perceba também que na escrita das equações do trecho desacelerado usamos  $t$  menos  $t_1$  e não apenas  $t$ , isso se faz necessário pois começamos um novo movimento cuja marcação do tempo deve ser zerada, a forma de se fazer isso no programa é subtrair o tempo marcado corrente  $t$  pelo tempo gasto na primeira parte do tempo. Se não fizermos isso o programa usará o tempo corrido desde o início do movimento, o que acarretará em erro na descrição do fenômeno, que é dividido em duas partes. Na Figura 6.3 temos a escrita das equações no modelo matemático.



**Modelo Matemático**

$$x = \begin{cases} a \times \frac{t^2}{2}, & t \leq t_1 \\ a \times \frac{t_1^2}{2} + v_0 \times (t - t_1) - a \times \frac{(t - t_1)^2}{2}, & t > t_1 \end{cases}$$

$$v = \begin{cases} a \times t, & t \leq t_1 \\ v_0 - a \times (t - t_1), & t > t_1 \end{cases}$$

Figura 6.3 – Escrita das equações usando as condições

Interpretamos o modelo com os valores dados no enunciado e com os valores de  $t_1$  e de  $v_{\max}$  que devem então ser calculados previamente para interpretarmos o modelo matemático correspondente. Perceba que nesse caso a estratégia convencional de resolução de problema, usando o quadro e giz ou lápis e papel ainda é utilizada, ela não é simplesmente trocada pela abordagem usando a simulação, mas ela é completada por esta, de modo a enriquecer a experiência de ensino dos alunos, pois sabemos que as atividades de resolução de problemas são muito importantes e contribuem para o desenvolvimento de várias habilidades na física, mas defendemos que elas não sejam as únicas a serem utilizadas, contando com propostas complementares de ensino como por exemplo o uso da modelização dos fenômenos físicos usando uma plataforma computacional, que é o caso da ferramenta Modellus. Após fazer a parte matemática da simulação, podemos criar a animação dessa situação problema, inserimos alguns elementos que auxiliam na visualização do fenômeno. Colocamos uma figura de um trem para ser o objeto que se movimenta segundo as equações, criamos um vetor velocidade para analisar o comportamento dessa grandeza ao longo do movimento, e também usamos um gráfico velocidade por tempo. O resultado da simulação está ilustrado na Figura 6.4

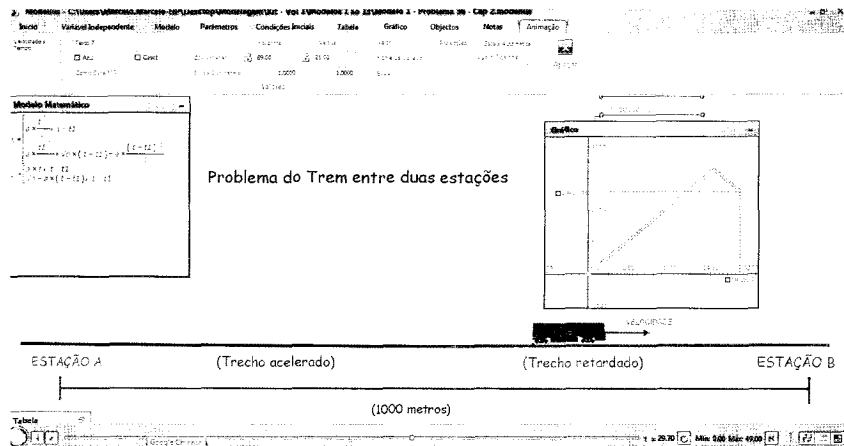


Figura 6.4 – Animação usando condições

Na animação é possível visualizar as características do movimento do trem. O gráfico que inserimos mostra o comportamento da velocidade a partir de uma reta crescente até se chegar ao pico que representa a máxima velocidade e em seguida temos a reta decrescente representando o trecho desacelerado. Esse problema foi utilizado por nós numa atividade colaborativa sobre cinemática. Os alunos receberam um treinamento para poderem usar a ferramenta computacional Modellus e, a partir disso e dos conceitos trabalhados em aula, cada grupo recebeu um enunciado de um problema que deveria ser resolvido e modelado no programa. De posse do problema e com o uso de um computador cada grupo conseguiu construir a simulação e a animação, é claro que muitas vezes os grupos de alunos recebiam a ajuda do professor para construir a simulação mas essa ajuda era propositalmente restrita de modo que os próprios alunos fossem capazes de sanar as suas dúvidas. Nesse caso usamos a estratégia “Construção Individual” que foi descrita no capítulo 2. Cada grupo de alunos recebeu um problema diferente e nesse caso a animação do movimento do trem foi feita por apenas um dos grupos de alunos. Na aula seguinte cada grupo apresentou para o restante da turma a animação que havia construído. Caso o professor não disponha de

um laboratório de informática para que cada grupo de alunos tenha acesso a um computador, pode-se usar como foi proposto também no capítulo 2 o uso da estratégia “Construção Coletiva”, que necessita apenas de um computador para o professor e um dispositivo de projeção. Percebemos que esse tipo de atividade, além de desafiar os alunos em sua criatividade, também proporciona um ensino mais ativo e dinâmico, o que torna o processo de ensino mais efetivo e participativo. Outras situações de outros tópicos também podem ser abordadas usando a função da condição, à medida que o leitor fizer uso dessa funcionalidade irá então se familiarizar com ela e os modelos construídos poderão ser cada vez mais ricos em detalhes e aprofundamento. No próximo capítulo iremos abordar o uso de derivadas na construção de modelos.



## Capítulo 7

---

# Usando derivadas

**P**ara trabalharmos com modelos matemáticos, teremos que lidar com equações que envolvem as derivadas de determinadas funções. Essas equações são chamadas de equações diferenciais. É bem provável que o leitor já tenha tido contato com esse tema em cursos introdutórios de cálculo integral e diferencial. Na física temos vários exemplos de situações onde elas aparecem, na verdade algumas das equações que utilizamos no ensino da física em nível médio são equações de derivadas, ou equações diferenciais, escritas em termos de uma função simples. A derivada aparece sempre que existe uma taxa de variação de uma dada grandeza em relação a outra grandeza. O exemplo mais clássico na física envolve as grandezas posição, velocidade e aceleração, dizemos que a velocidade é a taxa de variação da posição em relação ao tempo, ou a derivada da posição em relação ao tempo, e o mesmo vale para aceleração, que por sua vez é a derivada da velocidade em relação ao tempo. Dependendo do tipo de função que se está tratando, a resolução dessa derivada será mais simples ou mais complicada, onde cada caso é abordado segundo a teoria do cálculo integral e diferencial. No programa Modellus podemos apenas inserir as equações

das derivadas no modelo matemático e o próprio programa faz a solução da equação diferencial. Como nosso objetivo aqui é modelar os fenômenos e explorar as características desse fenômeno, não estamos interessados no passo a passo da resolução analítica dessas equações, mesmo assim destacamos a sua importância principalmente no contexto do ensino de física em nível superior de modo que o aluno tenha habilidade de resolver as principais equações que aparecem nos livros textos clássicos de física básica.

Para iniciarmos a inserção das derivadas no programa Modellus vamos começar com um problema simples, o do movimento em uma dimensão com aceleração constante. Sabemos que a velocidade é a derivada da posição e que a aceleração é a derivada da velocidade. Podemos então modelar esse problema usando as seguintes equações de derivadas:

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

**(Equação 1 – velocidade como derivada da posição em relação ao tempo)**

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

**(Equação 2 – aceleração como derivada da velocidade em relação ao tempo)**

Nesse caso vamos usar as condições iniciais como  $X_0 = \text{Zero}$  (Posição inicial),  $V_0 = 10\text{m/s}$  (Velocidade inicial), e  $a = 6\text{m/s}^2$  (Aceleração constante). Fazendo a aceleração ter um valor fixo igual a  $2\text{m/s}^2$  estamos querendo dizer que o seu valor será constante, no caso da posição e da velocidade apenas fixamos seus valores iniciais. Ao abrirmos a tela do Modellus podemos inserir a equação de derivada na janela

modelo no tópicos taxa de variação como mostrado em destaque na Figura 7.1.

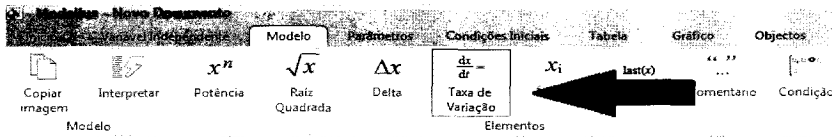


Figura 7.1 – Inserindo as derivadas no modelo matemático

Clicando em cima desse ícone com a janela modelo matemático aberta podemos então criar uma equação de derivadas. O programa trabalha apenas com taxas de variações temporais, que são as mais comuns na física.

Após clicar sobre o ícone escrevemos a grandeza que está variando e do outro lado da igualdade a variável que define a derivada, no nosso exemplo a derivada da posição ( $x$ ) é igual à variável velocidade ( $v$ ). Em seguida fazemos o mesmo para a velocidade e aceleração. Depois disso devemos clicar no ícone condições iniciais e inserir os valores que vamos adotar:  $X_0 = 0$  e  $V_0 = 10\text{m/s}$ . Temos também que clicar no ícone parâmetros e preencher o valor da aceleração, nesse caso com o valor de  $6\text{m/s}^2$ . Na figura 7.2, temos o modelo matemático juntamente com os gráficos da posição, velocidade e aceleração por tempo.

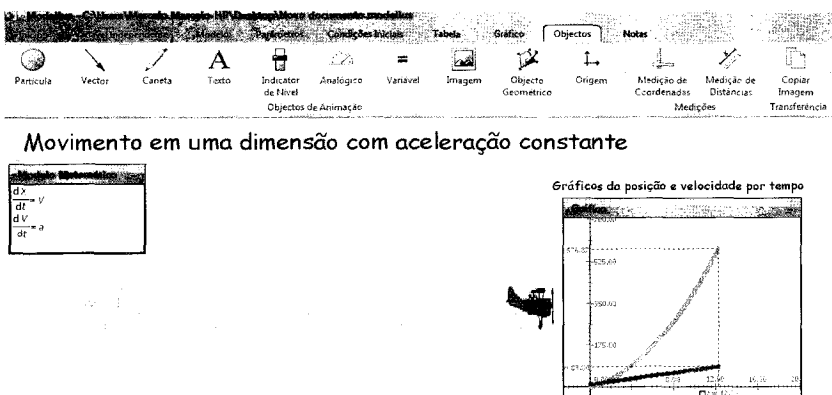


Figura 7.2 – Movimento em uma dimensão com aceleração constante usando derivadas.

Esses resultados já eram esperados e poderíamos facilmente ter abordado esse problema sem as derivadas usando apenas as equações básicas desse movimento dentro da janela modelo matemático, uma vez que essas equações são bem conhecidas. Porém em outros problemas de física no nível superior as soluções das equações não são tão simples, como no caso de circuitos elétricos com diferentes tipos de elementos (Resistor, Capacitor, Indutor) ou no movimento de queda com força de resistência do ar. Nesses casos a soluções também são conhecidas na literatura geral mas não são tão simples de ser resolvidas, ficando suprimidas em muitos cursos de física básica. Trataremos a seguir de um desses exemplos.

### **Corpo em queda com uma força de resistência do ar**

Para um corpo que cai de uma certa altura sob a ação da gravidade e de uma força de resistência do ar geralmente denominada força de arrasto aerodinâmico, temos que em geral essa força é proporcional à velocidade do corpo ou a uma potência dela e também a algumas constantes relacionadas a densidade do meio, a área de seção reta efetiva e a um coeficiente aerodinâmico. O valor da força de resistência do ar (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009) pode ser dada por:

$$F = b.v^2$$

Onde  $V$  é a velocidade, e  $b$  é uma constante que envolve o coeficiente de arrasto, a densidade do meio, e área de seção reta efetiva. A orientação dessa força está na mesma direção e sentido oposto ao vetor velocidade do corpo. O corpo está submetido a duas forças, a força peso que está orientada para baixo e a força de arrasto, que no caso de uma queda está orientada para cima. Considerando o referencial positivo como sendo o eixo vertical para cima, as equações desse movimento são:



$$a = \frac{Fr}{m}$$

**(Equação 1 – Aceleração)**

$$Fr = -m \cdot g + b \cdot v^2$$

**(Equação 2 - Força resultante)**

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

**(Equação 3 – Velocidade como derivada da posição)**

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

**(Equação 4 – Aceleração como derivada da velocidade)**

Inserimos então essas equações no programa e preenchemos as condições iniciais com  $Y_0 = 100\text{m}$ ,  $V_0 = 0$ . Nos parâmetros substituímos os valores com  $m=5\text{kg}$ ,  $g=10\text{m/s}$ , e  $b = 0,2\text{kg/m}$ .

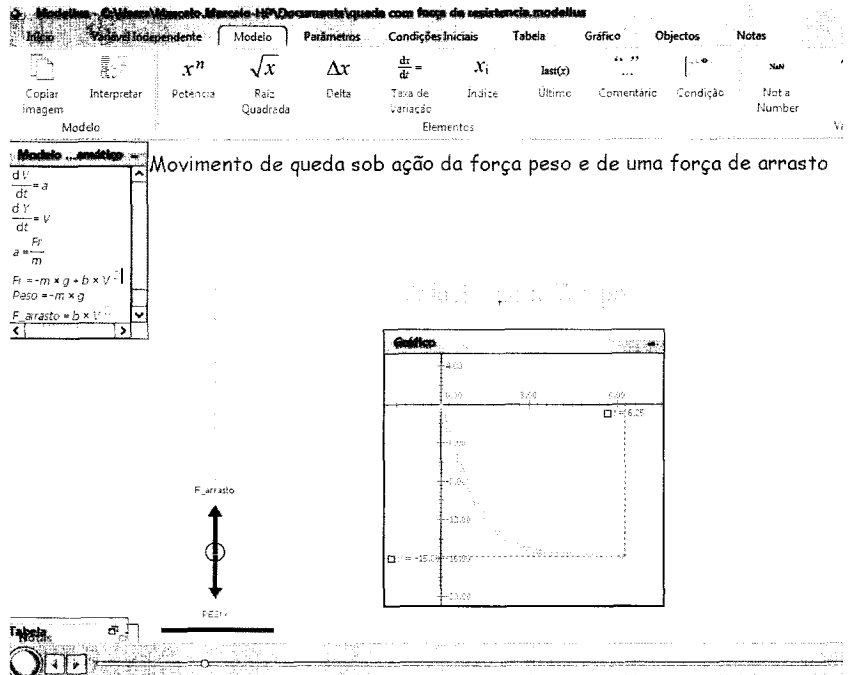


Figura 7.3 – Queda de um corpo sob ação da força Gravitacional e de arrasto.

Na Figura 7.3 temos o gráfico que mostra a variação da velocidade com o tempo, a velocidade vai aumentando em módulo de forma não linear até atingir um valor limite conhecido como velocidade terminal. Isso acontece quando o valor da força peso se iguala ao valor da força de resistência do ar. Nesse momento a força resultante é igual a zero e a dessa forma a aceleração é igual a zero. O gráfico mostra que a partir desse ponto a velocidade é constante. Também podemos inserir no modelo matemático as energias do corpo, cinética, potencial gravitacional, e total, e analisar o comportamento dessas energia através dos seus gráficos. Na Figura 7.4 temos o gráfico da energia cinética do corpo em função do tempo.

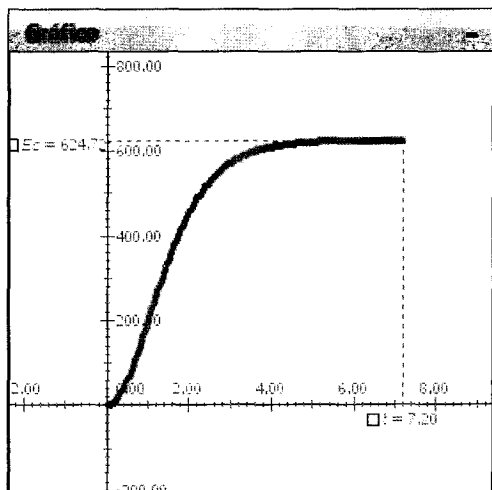


Figura 7.4 – Gráfico da energia cinética pelo tempo.

Nesse gráfico podemos ver que a energia cinética cresce até o ponto onde passa a atuar a velocidade terminal, nesse momento então a energia cinética passa a ser constante. Como a energia potencial gravitacional vai diminuindo, podemos afirmar que a energia total também diminui e dessa forma não existe a conservação da energia mecânica total do sistema, o que já era de se esperar, pois a força de resistência do ar é uma força dissipativa. Vários outros casos podem ser abordados a partir do uso das derivadas e das equações diferenciais no ensino de física com o uso do Modellus, faremos a discussão de outros exemplos nos capítulos subsequentes.



# Exemplos de aplicação para o ensino médio.

O objetivo desse capítulo é apresentar exemplos de aplicação que podem ser usados em atividades de modelagem e simulação no contexto da física do ensino fundamental e médio, utilizando a divisão tradicional da distribuição dos conteúdos dos livros didáticos de física. A ideia básica aqui é mostrar de forma bem objetiva como a construção de cada modelo pode ser feita, bem como a sua animação. A metodologia empregada para a implementação de atividades com esses modelos fica a critério do professor. No capítulo 10 vamos sugerir algumas atividades práticas que podem ser desenvolvidas a partir dos modelos construídos, sugerindo então algumas metodologias que podem ser empregadas.

### **1 – Blocos ligados por uma corda**

O primeiro modelo que vamos abordar aqui é um problema típico abordado nos livros texto de física em que dois blocos estão ligados através de uma corda que passa por uma polia. O objetivo desses problemas geralmente é calcular a

aceleração dos blocos e determinar o valor da tração. Usando a modelagem o professor terá mais possibilidades de explorar o problema usando também a parte de cálculos para isso. O leitor já deve ter percebido que para modelar as situações no modelos sempre fazemos uso das equações cinemáticas, mesmo que elas não sejam o foco da modelização do tal fenômeno, isso em geral não será um problema, pois a cinemática tradicionalmente é a primeira parte da física que é abordada, dessa forma, mesmo que não seja o foco principal da modelagem, a cinemática estará presente na construção. Nesse problema teremos como valores iniciais as massas dos dois blocos que iremos chamar de  $m_1$  e  $m_2$  e a altura inicial que cada um se encontra no chão, em geral os blocos são soltos da mesma altura inicial, que é o que vamos considerar na construção desse modelo. A aceleração de cada bloco pode ser encontrada aplicando a Segunda Lei de Newton ao sistema de blocos, facilmente pode-se demonstrar que o módulo da aceleração será dada por:

$$a = \frac{(m_2 - m_1) \cdot g}{(m_2 + m_1)}$$

**(Equação 1 – Aceleração dos blocos)**

Nesse caso  $m_2$  é maior que  $m_1$  e o bloco 2 irá descer e o bloco 1 irá subir, logo eles terão o mesmo valor de aceleração mas com sinais contrários. Se  $m_1$  fosse igual a  $m_2$  não haveria aceleração. As demais equações são:

$$Y_1 = Y_0 + a \cdot \frac{t^2}{2} \quad \text{e} \quad Y_2 = Y_0 - a \cdot \frac{t^2}{2}$$

**(Equação 2 e 3 – Posições dos blocos em função do tempo)**

$$V_1 = a \cdot t \quad \text{e} \quad V_2 = -a \cdot t$$

**(Equação 4 e 5 – Velocidade dos blocos em função do tempo)**

$$T_2 = (g - a).m_2 \quad \text{e} \quad T_1 = (g + a).m_1$$

**(Equações 6 e 7 – Tensões nos blocos)**

$$P_1 = -m_1.g \quad \text{e} \quad P_2 = -m_2.g$$

**(Equações 8 e 9 – Pesos dos blocos)**

Nesse caso,  $Y$  é a posição vertical do bloco partícula num instante de tempo  $t$ ,  $Y_0$  é a posição inicial,  $g$  é a aceleração da gravidade  $V_1$  e  $V_2$  são as velocidades dos blocos,  $T_1$  e  $T_2$  as tensões feitas pela corda e  $P_1$  e  $P_2$  os pesos dos blocos. Interpretamos o modelo com  $g = 10\text{m/s}^2$ ;  $Y_0 = 10\text{m}$ ;  $m_1=1,3\text{kg}$  e  $m_2=2,6\text{kg}$ . Para fazer a animação usamos duas partículas retangulares para representar os blocos com coordenadas verticais ligadas a  $Y_1$  e  $Y_2$ , vetores ligados ao blocos para representar as tensões e os pesos, e duas retas colocadas na polia para representar o fio. Para animar esse movimento temos que usar um artifício para dar a ideia de movimento do fio, para isso a reta ligada ao bloco que desce deve aumentar o seu tamanho à medida que o bloco desce e a reta que está ligada ao bloco que sobe deve reduzir o seu tamanho quando esse bloco sobe. Para tanto criamos duas novas equações para duas novas variáveis que chamamos de “fio<sub>1</sub>” e “fio<sub>2</sub>”. As equações são as seguintes:

$$Fio_1 = -L_0 + Y_1 \quad \text{e} \quad Fio_2 = -L_0 + Y_2$$

**(Equações 10 e 11 – Variáveis para o tamanho do fio)**

Nesse caso  $L_0$  é a distância do chão até a polia, que para essa situação interpretamos como sendo 20m. O nosso referencial foi adotado como sendo positivo para cima, como  $Y_1$  vai aumentar e  $Y_2$  vai diminuir quando o bloco 2 estiver em  $Y_2=0$ , o fio<sub>2</sub> será igual a  $L_0$ , ou seja a 20m, nesse mesmo instante  $Y_1$  será igual a 20m logo fio<sub>1</sub>=0, ou seja, o bloco 1 chega na polia. Dessa forma conseguimos animar o movimento

dos blocos e também do fio, outros valores poderiam ter sido usados, mas nesse caso quisemos abordar a situação usando essa abordagem. A polia foi representada através de uma figura inserida no programa, fixamos também o tempo máximo em 2,33s, que é o tempo onde o bloco 2 chega ao chão e o bloco 1 chega até a polia (este tempo pode ser facilmente calculado). Fizemos isso através da janela “variável independente” em que também pode ser alterado o passo da simulação. Podemos ver o resultado final da simulação na Figura 8.1.

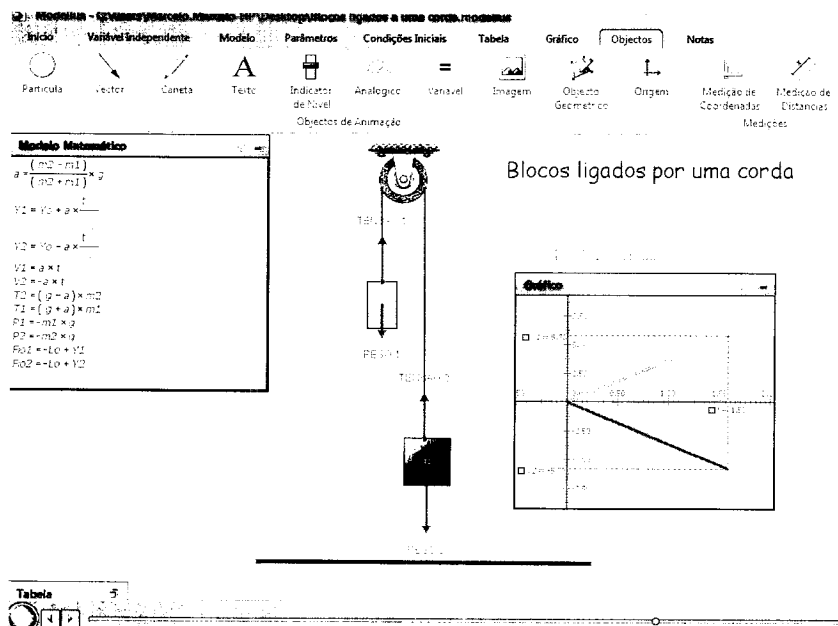


Figura 8.1 – Animação do movimento de dois blocos ligados por uma corda.

Podemos ver através do gráfico que as velocidades do corpo vão aumentando igualmente em valor, porém com sinais contrários, evidenciando o sentido das velocidades dos blocos no movimento. Essas e outras questões podem ser exploradas pelo professor ao se trabalhar com essa simulação em suas aulas.



## 2 – Corpo sujeito a uma força de atrito

O próximo modelo que vamos descrever é um modelo relacionado a uma aplicação das leis de Newton, tema que geralmente é abordado entre o final do primeiro semestre e o início do segundo semestre em turmas de 1º ano do ensino médio. A situação proposta aqui é a seguinte: um automóvel trafega com velocidade constante numa pista horizontal e num certo instante os freios são acionados e o automóvel é desacelerado por uma força de atrito contrária ao movimento do automóvel.

As equações cinemáticas desse modelo são as seguintes:

$$X_1 = V_0 \cdot t$$

**(Equação 1 – Posição em função do tempo sem aceleração)**

$$X_2 = V_0 \cdot t_1 + V_0 \cdot (t - t_1) + a \cdot (t - t_1)^2 / 2$$

**(Equação 2 – Posição em função do tempo com aceleração)**

$$V_1 = V_0$$

**(Equação 3 – Velocidade no trecho sem aceleração)**

$$V_2 = V_0 + a \cdot (t - t_1)$$

**(Equação 4 – Velocidade no trecho com aceleração)**

Para essas equações a variável  $t_1$  é o instante de tempo no qual a frenagem é acionada. As equações dinâmicas são:

$$Fr = m \cdot a$$

**(Equação 5 – 2ª Lei de Newton)**

$$Fat = -\mu \cdot m \cdot g$$

**(Equação 6 – Força de atrito)**

Nessas equações,  $X$  representa a posição do corpo,  $V_0$  é a velocidade inicial do automóvel e  $t$  é a variável independente nas equações. Nas equações da dinâmica do movimento, temos a como sendo a aceleração,  $m$  é a massa do corpo,  $Fr$  é a força resultante que nesse caso será apenas a força de atrito cinético  $Fat$  e  $\mu$  será o coeficiente de atrito cinético e  $g$  a aceleração da gravidade. Nesse caso é fácil demonstrar que força normal será numericamente igual ao peso do corpo. Escrevemos então estas equações no modelo e inserimos a às condições do problema.

- 1ª Condição:

**$X$  será igual a  $X_1$  para  $t < t_1$  e  $X_2$  para  $t >$  ou igual a  $t_1$**

- 2ª Condição:

**$V$  será igual a  $V_1$  para  $t < t_1$  e  $V_2$  para  $t >$  ou igual a  $t_1$**

Essas condições refletem o fato de que antes de  $t_1$  o corpo executa um movimento sem aceleração e no instante de tempo igual e superior a  $t_1$  o corpo executa um movimento com aceleração, que nesse caso é uma aceleração contrária à velocidade inicial do corpo. Após escrever as equações interpretamos com  $V_0=20\text{m/s}$ ;  $m=1000\text{kg}$ ;  $g = 10\text{m/s}^2$ ;  $\mu=0,1$  e  $t_1=5\text{s}$ . Inserimos então uma partícula com coordenada horizontal igual a  $X$  e coordenada vertical igual a zero. Ligamos essa partícula a um vetor com coordenada horizontal igual a  $V$  e coordenada vertical zero. Quando rodamos o modelo podemos perceber a mudança no movimento a partir do instante de tempo  $t_1$ . Na Figura 8.3 temos o gráfico da velocidade em função do tempo, podemos perceber a redução na velocidade no momento que a força de atrito passa a atuar no movimento.

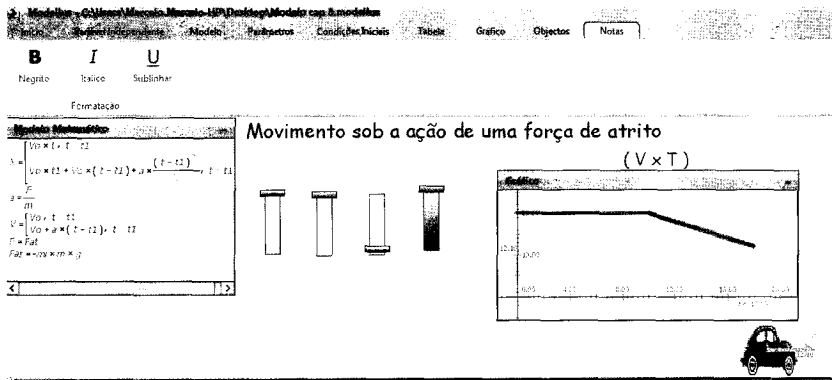


Figura 8.3 – Movimento retilíneo sob a ação de uma força de atrito.

### 3 – Movimento Harmônico Simples

No tópico de ondas e oscilações geralmente estudado no 2º ano do ensino médio, é apresentada a análise do movimento harmônico simples que é o movimento de oscilação de um corpo em torno de uma posição de equilíbrio em razão da presença de uma força restauradora. Para o sistema massa-mola, a força restauradora no corpo preso à mola é dada por  $F = -K.X$  onde  $K$  é a constante de rigidez da mola e  $X$  é o deslocamento a partir da posição de equilíbrio. As equações que descrevem o movimento do corpo preso à mola nessa circunstância são:

$$X = A \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

**(Equação 1 – Posição em função do tempo)**

$$V = \omega \cdot A \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

**(Equação 2 – Velocidade em função do tempo)**

$$a = -\omega^2 \cdot A \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

**(Equação 3 – Aceleração em função do tempo)**

A frequência angular  $\omega$  do movimento é dada por:

$$w = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

**(Equação 4 – Frequência Angular)**

Nessas equações A é amplitude do movimento e T é o período do movimento. Esse período depende dos parâmetros físicos do sistema, nesse caso ele depende da massa do corpo e da constante da mola sendo dado por:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{k}}$$

**(Equação 5 – Período do sistema massa-mola)**

As energias do sistema são descritas por:

$$E_c = m \cdot V^2 / 2$$

**(Equação 6 – Energia Cinética)**

$$E_{pe} = k \cdot X^2 / 2$$

**(Equação 7 – Energia Potencial Elástica)**

Nesse caso  $E_c$  é a energia cinética do corpo,  $E_{pe}$  é a energia potencial elástica a soma das duas energias fornece a energia mecânica do corpo. Para começar a construir o modelo e sua animação escrevemos então essas equações no modelo matemático e interpretamos com:  $A = 0,5m$ ;  $m = 5kg$ ;  $K=100N/m$ .

Para a animação criamos uma partícula no formato de bloco retangular e inserimos uma imagem externa de uma mola e então ligamos o bloco na imagem da mola de modo que o bloco ficasse na extremidade da mola. Criamos também dois vetores, um para a velocidade com coordenada vertical igual a zero e coordenada horizontal ligada à velocidade V, e um outro vetor para a aceleração com coordenada vertical zero e coordenada horizontal ligada à aceleração do

sistema, ambos com escala horizontal igual a 20. Um ponto importante para frisar em relação à animação é que para animar o movimento não podemos simplesmente ligar o objeto e a mola à variável relativa a posição, que nesse caso é a variável  $x$ . Como não podemos desprezar as dimensões da mola temos que criar no modelo uma outra variável que descreva o movimento dos dois corpos levando também em consideração o comprimento da mola. Criamos então a variável  $L$ , que será a função que descreve o comprimento da mola em um dado tempo e será dada por:

$$L = L_0 + x$$

### **(Equação 8 – Comprimento da mola)**

Nesse caso  $L$  é o comprimento da mola ao longo da oscilação e  $L_0$  é o comprimento da mola sem compressão ou distensão, interpretamos o modelo com  $L_0=1,5\text{m}$ . É a variável  $L$  que de fato descreverá o movimento de animação da mola. Quando  $x$  é igual a zero  $L = L_0$ , porém quando  $x$  é um valor positivo o comprimento da mola será maior que  $L_0$ , ou seja, a mola está sofrendo uma distensão e quando  $x$  for um valor negativo o comprimento da mola será menor que  $L_0$ . Dessa forma a mola estará sofrendo uma compressão. Na parte gráfica analisamos as energias do sistema (Cinética, Elástica e Total) onde se pode identificar a variação dessas grandezas no decorrer do tempo. A animação final pode ser vista na Figura 8.5.

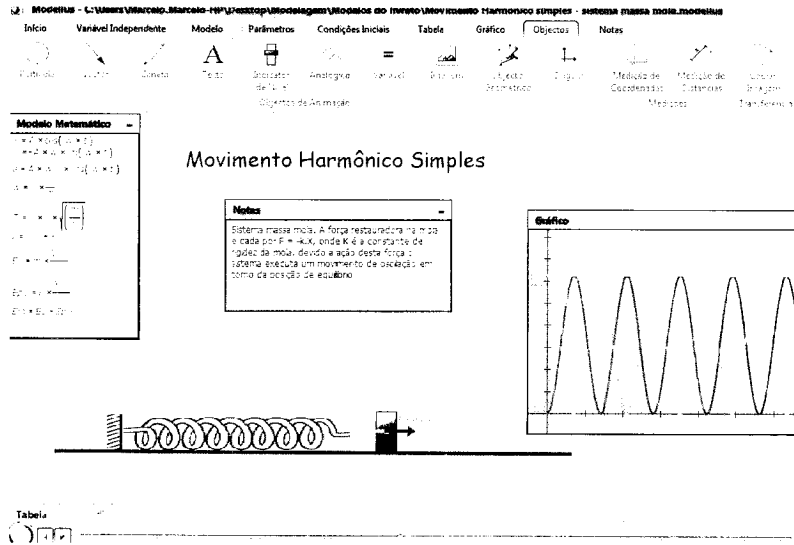


Figura 8.5 – Modelagem do Movimento Harmônico Simples

#### 4 – Carga elétrica lançada num campo elétrico

Nesse modelo apresentamos o movimento de uma carga elétrica dentro de um campo elétrico uniforme. O estudo da carga e campos elétricos é tradicionalmente realizado no 3º ano do Ensino Médio. Nessa situação temos que a carga executa um lançamento horizontal com uma velocidade inicial  $V_0$  na região de um campo elétrico uniforme criado por duas placas planas e paralelas carregadas com cargas de sinais opostos. Estamos desconsiderando o efeito do campo gravitacional. No caso estudado o valor da força elétrica é dada por  $F = q \cdot E$ , onde  $q$  é a carga da partícula e  $E$  é o valor do campo elétrico. Sabendo que a única força aplicada ao corpo nesse caso será a força elétrica, usando a Segunda Lei de Newton ( $F_r = m \cdot a$ ) o módulo da aceleração da partícula será:

$$a = q \cdot E / m$$

**(Equação 1 – Aceleração da carga dentro do campo elétrico)**

A direção dessa aceleração será a mesma direção do campo, que no caso desse modelo foi colocado na vertical. O sentido dependerá do sinal do campo e também do sinal da carga. As equações do movimento serão:

$$X = V_0 \cdot t$$

(Equação 2 – Posição horizontal)

$$Y = a \cdot \frac{t^2}{2}$$

(Equação 3 – Posição vertical)

$$V_x = V_0 \text{ e } V_y = a \cdot t$$

(Equações 4 e 5 – velocidades da carga)

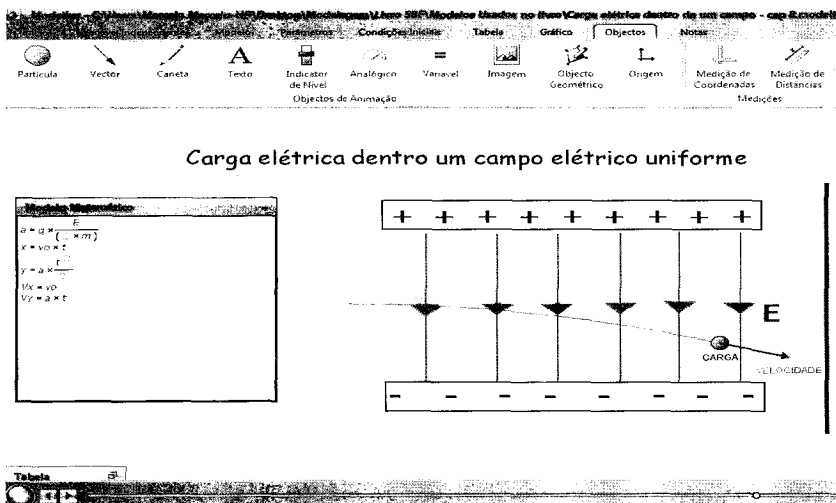


Figura 8.7 – Carga elétrica lançada num campo elétrico uniforme.

Após escritas essas equações no modelo matemático, interpretamos com os seguintes valores:  $V_0 = 10\text{m/s}$ ;  $m = 0,2\text{kg}$ ;  $E = -20\text{N/C}$ ;  $q=0,01\text{C}$ . O modelo final está ilustrado na Figura 8.7. Nele, inserimos uma partícula para executar a animação e também uma imagem de um campo elétrico uniforme, no caso da figura utilizada o campo se encontra na vertical orientado para baixo (y negativo). A coordenada

horizontal da partícula foi ligada à variável X e a coordenada vertical foi ligada à variável Y. Criamos também um vetor associado à velocidade resultante da partícula, com coordenada horizontal ligada a  $V_x$  e coordenada vertical ligada a  $V_y$ . No próximo capítulo mostraremos exemplos que podem ser usados também em aulas de física no nível superior, em cursos introdutórios de física básica.



# Exemplos de aplicação para o ensino superior

**N**o contexto da física do ensino superior, temos várias situações que podem ser abordadas didaticamente com o uso de simulação e modelagem computacional a partir do software Modellus. Nos últimos anos temos trabalhado nas disciplinas de física geral em cursos de engenharia e licenciatura em física utilizando essa ferramenta de forma a auxiliar nas demonstrações dos fenômenos físicos, como também com atividades interativas e colaborativas com grupos de alunos, e temos percebido uma boa resposta em relação ao interesse, motivação e envolvimento dos alunos nesse tipo de atividades. Como já foi mencionado anteriormente, existem várias formas de utilização e aplicação da ferramenta no contexto da sala de aula e apresentaremos agora alguns exemplos de situações físicas que podem ser abordadas também no ensino superior, deixando a escolha da sua metodologia de aplicação para o professor, que por sua vez, poderá adequar essas aplicações ao seu planejamento e contexto de ensino.

## 1 – Rolamento sem deslizamento de um corpo rígido.

Um fenômeno interessante e extremamente importante no contexto das tecnologias que aparece nos livros textos de física básica em nível superior é o movimento de rolamento de um corpo rígido. O rolamento pode ser entendido como uma combinação de um movimento de translação e um movimento de rotação. Trataremos aqui do movimento de rolamento suave, que acontece quando não existe deslizamento do corpo em relação à superfície no qual ele se movimenta. Se analisarmos por exemplo o movimento de uma roda em forma de disco de raio  $R$ , a velocidade do centro de massa do disco será dada por  $V_{cm} = W \cdot R$ , onde  $W$  é a velocidade angular de rotação do disco. Um ponto situado na extremidade desse disco executará um movimento circular uniforme. Para fazer a modelagem do problema usamos inicialmente as seguintes equações:

$$X_{cm} = V_{cm} \cdot t \quad \text{e} \quad V_{cm} = w \cdot R$$

**(Equações 1 e 2 – Posição e velocidade do centro de massa)**

Para fazer a animação do fenômeno criamos então um ponto que servirá de âncora para a animação do movimento, esse ponto recebe como coordenada horizontal a variável  $X_{cm}$ . Para fazer a animação relativa à rotação criamos um círculo e quatro semirretas que serão os raios da roda que gira, essas retas terão sua origem no centro de massa e irão até a borda do círculo. Como as retas irão executar movimentos circulares, as equações que regem o seu movimento terão a seguinte forma:

$$X = R \cdot \cos(w \cdot t) \quad \text{e} \quad Y = -R \cdot \sin(w \cdot t)$$

Onde  $R$  é o raio da roda,  $w$  é a velocidade angular e  $t$  é o tempo. O sinal de menos na coordenada  $Y$  é necessário pois faremos uma simulação onde a roda se movimenta da esquerda para a direita executando dessa forma uma rotação no sentido horário. Para cada uma das retas teremos duas equações como descritas anteriormente, porém, como cada reta fará um ângulo de  $90^\circ$  com a próxima reta, cada equação deve ter uma diferença de fase também de  $90^\circ$  em seu argumento, nesse caso  $\pi/2$ . Dessa forma as equações das retas serão as seguintes:

$$X_1 = R \cdot \cos(w \cdot t) \text{ e } Y_1 = -R \cdot \text{sen}(w \cdot t)$$

**(Equações para a reta 1)**

$$X_2 = R \cdot \cos(w \cdot t + \pi/2) \text{ e } Y_2 = -R \cdot \text{sen}(w \cdot t + \pi/2)$$

**(Equações para a reta 2)**

$$X_3 = R \cdot \cos(w \cdot t + \pi) \text{ e } Y_3 = -R \cdot \text{sen}(w \cdot t + \pi)$$

**(Equações para a reta 3)**

$$X_4 = R \cdot \cos(w \cdot t + 3 \cdot \pi/2) \text{ e } Y_4 = -R \cdot \text{sen}(w \cdot t + 3 \cdot \pi/2)$$

**(Equações para a reta 4)**

Escrevemos então estas equações na janela do modelo matemático e inserimos um raio igual 2m e uma velocidade angular igual a  $\pi/3$  rad/s diretamente no modelo matemático. Os objetos geométricos utilizados foram o ponto para servir de centro de massa e as quatro retas, todos eles ligados a um círculo. Criamos também um vetor para representar a velocidade do centro de massa, esse vetor foi ligado ao ponto. A Figura 9.1 mostra como ficou a animação do modelo para esse fenômeno.

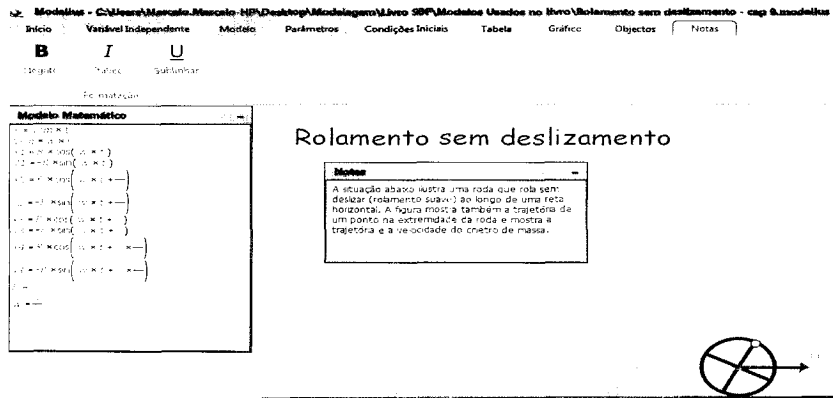


Figura 9.1 – Animação de um Rolamento sem deslizamento

Para analisar a trajetória de um ponto na extremidade da roda, criamos uma partícula e a ligamos a extremidade de uma das retas, e indicamos na parte da animação que a trajetória dessa partícula fosse marcada a uma dada quantidade de passos, dessa forma podemos perceber na ilustração a trajetória do centro de massa da roda e a trajetória de um ponto em sua borda, caracterizando assim o movimento de translação e rotação.

## 2 – Movimento Harmônico Amortecido

No capítulo anterior propomos a modelagem do sistema massa mola executando um movimento harmônico simples. A modelagem foi feita a partir das equações de movimento para esse fenômeno. Agora vamos analisar a situação onde o corpo executará um movimento amortecido. Para isso vamos imaginar que um bloco está preso a uma mola que por sua vez se encontra na vertical e presa a um teto. Uma barra fixa no bloco liga o bloco a uma palheta imersa num líquido. Vamos supor aqui que a massa da barra e da palheta seja desprezível em relação à massa do bloco. Quando a palheta se move dentro do líquido para cima e para baixo devido à oscilação da mola, ela fica sujeita a uma força de arrasto sobre si devido ao líquido, e essa força age sobre todo

o sistema. Um possível modelo para essa força de amortecimento é (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009):

$$F_a = -b.v$$

Nesse caso  $b$  é uma constante de amortecimento e o sinal negativo indica que a força é contrária à velocidade do corpo. Considerando que a força da mola é dado por  $-k.x$  e que a força peso é  $m.g$ , aplicando então a Segunda Lei de Newton ao bloco teremos que

$$F_r = m.a \quad \text{e} \quad -b.v - k.x + m.g = m.a$$

De modo que a aceleração do corpo será dada por:

$$a = -\frac{b.v}{m} - \frac{k.x}{m} + g$$

Dessa vez iremos escrever a equação na forma de duas equações diferenciais e inserir no modelo matemático do programa. Como a aceleração é a derivada da velocidade e a velocidade é a derivada da posição temos que

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{b.v}{m} - \frac{k.x}{m} + g \quad \text{e} \quad v = \frac{dx}{dt}$$

**(Equações 1 e 2 – Aceleração e velocidade)**

Inserimos essas equações no modelo e interpretamos com:  $b = 2 \text{ kg/s}$ ,  $m = 20\text{kg}$  e  $k = 1000\text{N/m}$ . As condições iniciais serão  $Y_{\text{inicial}} = 0,5\text{m}$ , que é a amplitude máxima do movimento e  $V_0$  igual a zero. Com as equações diferenciais inseridas no modelo matemático, o programa resolve essas equações e gera os gráficos. A partir daí podemos fazer a animação do

fenômeno. Inserimos ali uma partícula com formato retangular e uma imagem externa de uma mola. Criamos também uma reta que será a plataforma na qual o corpo se movimenta. Inserimos a variável  $L$  que será usada para representar o comprimento da mola. Nesse caso  $L_0$  será o comprimento inicial da mola com a distensão devido à força da gravidade. A equação para  $L$  será dada por:

$$L = -(L_0 + Y)$$

**(Equação 3 – Animação da Mola)**

O sinal negativo se faz necessário pois a mola estará fixada de cima para baixo. Usaremos nesse caso  $L_0$  igual a 1,5m que é o comprimento da mola mais a deformação causada pela força peso. A coordenada vertical do bloco e da imagem da mola são então ligadas à variável  $L$ . Criamos também a palheta através de três retas que foram ligadas ao bloco e também uma imagem para simbolizar um recipiente com um líquido feito através de um retângulo e três retas. Na Figura 9.3 além do modelo matemático e de sua animação vemos também o gráfico da posição por tempo mostrando que a amplitude do movimento vai diminuindo no decorrer do tempo, situação característica no movimento amortecimento.

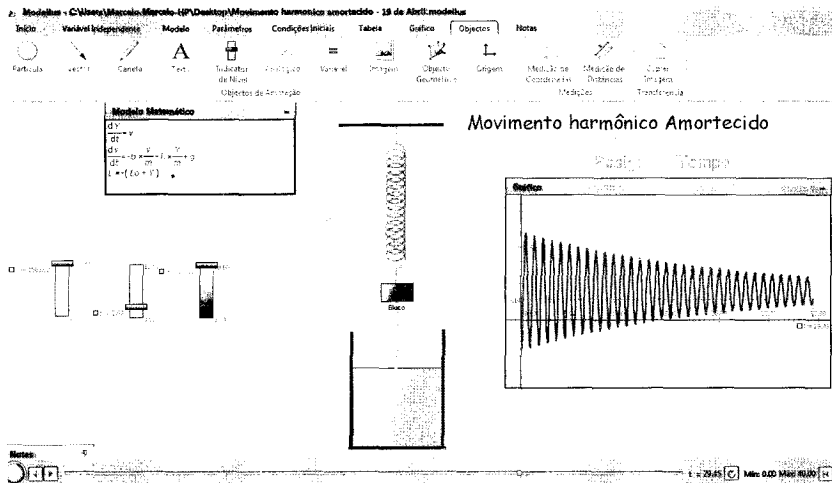


Figura 9.3 – Modelagem de um movimento Harmônico Amortecido.

### 3 – Carga de um capacitor

No estudo dos circuitos elétricos, podemos destacar a análise de um deles em particular composto por uma fonte de tensão e um resistor ligado em série a um capacitor, Esse circuito é comumente chamado de circuito RC. A descrição conceitual desse circuito não é das mais difíceis, porém sua solução matemática mais uma vez envolve equações diferenciais. Ao ser ligada a fonte de tensão aos dois elementos o capacitor começa um processo de carregamento de modo que a corrente elétrica sofre uma variação de zero até um certo valor enquanto acontece o processo de carga. A carga no capacitor será então uma função do tempo e por sua vez a energia armazenada no capacitor e também a voltagem no capacitor também serão funções do tempo. Se escrevermos a equação para os potenciais em cada elemento desse circuito, teremos que

$$E - R \cdot i - \frac{q}{C} = 0$$

O termo  $E$  é a voltagem na fonte, o termo  $R.i$  é a voltagem no resistor e o termo  $q/C$  é a voltagem no capacitor. Podemos escrever  $i$  como a derivada da carga em relação ao tempo  $i = dq/dt$ . Fazendo isso e reorganizando a equação teremos que

$$\frac{dq}{dt} = \frac{E}{R} - \frac{q}{(R.C)}$$

**(Equação 1 – Taxa de variação da carga no capacitor)**

A voltagem no capacitor e a energia armazenada neste caso serão dadas por:

$$V_c = \frac{q}{C} \quad \text{e} \quad E_c = \frac{q^2}{(2.C)}$$

**(Equações 2 e 3 – Voltagem e energia no Capacitor)**

Inserindo essas equações no modelo matemático do programa e interpretando com  $E = 10\text{C}$ ,  $R = 2000\Omega$  e  $C = 0,000001\text{F}$  e  $q_{\text{inicial}}$  igual a zero podemos fazer a análise do processo de carga do capacitor.

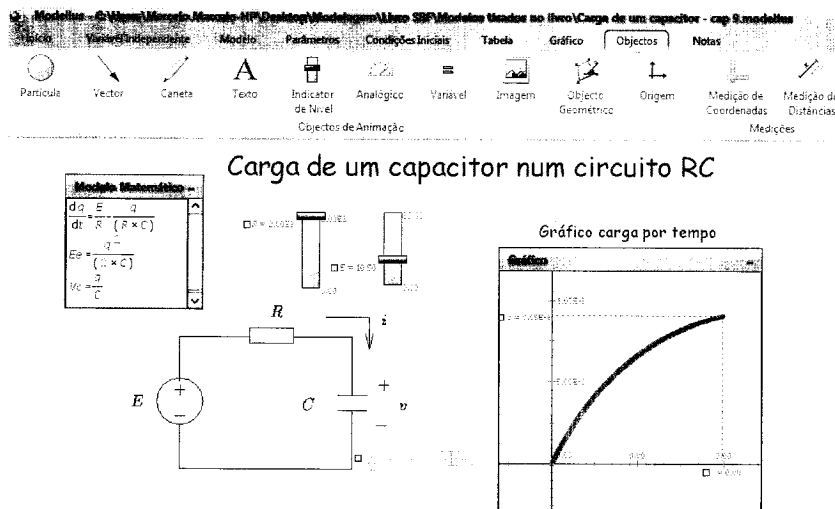


Figura 9.5 – Modelagem do circuito RC.



No modelo apresentado inserimos uma imagem externa de um circuito RC e criamos uma variável carga  $q$  e colocamos ao lado do capacitor na imagem de modo que se veja a variação da carga ao longo do carregamento. Na Figura 9.5 também podemos visualizar o gráfico da carga em função do tempo que por sua vez cresce de forma exponencial até atingir um valor praticamente constante após um tempo suficientemente grande, como podemos ver na Figura 9.6.

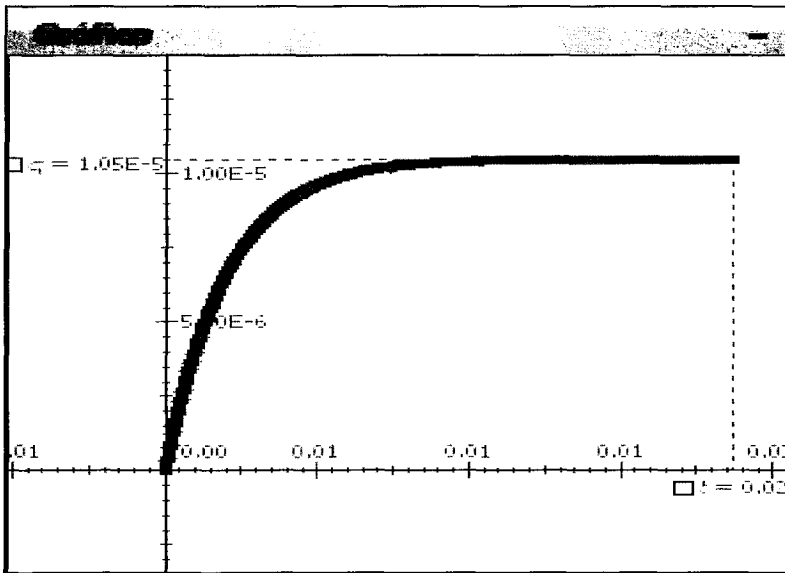


Figura 9.6 – Gráfico da carga em função do tempo.

#### 4 – Espectrômetro de Massa

Uma outra situação que podemos abordar também no contexto do eletromagnetismo está relacionada com o dispositivo chamado de espectrômetro de massa, que é utilizado para medir a massa de partículas carregadas. Uma dada partícula de massa  $m$  e carga  $q$  é acelerada por um campo elétrico associado a uma diferença de potencial. A carga então entra numa região que contém um campo magnético  $B$  uniforme e perpendicular à sua trajetória. A presença do campo faz então com que essa carga descreva uma trajetória

circular antes de atingir um detector. A força magnética na carga quando esta penetra na região de campo magnético é dada pelo produto vetorial:

$$\vec{F}_{mag} = q. (\vec{v} \times \vec{B})$$

Nesse caso vamos simular uma situação onde a carga possui uma velocidade inicial na direção y. As equações de movimento da carga serão:

$$\frac{dV_x}{dt} = \frac{F_x}{m}; \quad \frac{dV_y}{dt} = \frac{F_y}{m}; \quad \frac{dx}{dt} = V_x \quad e \quad \frac{dy}{dt} = V_y$$

**(Equações 1, 2, 3 e 4 – Acelerações e velocidades)**

No momento de escrevermos as equações no modelo, temos que ter dois cuidados, o primeiro se refere ao fato de a força magnética ser o resultado de um produto vetorial, como o programa não entende esta operação temos que fazer uma troca na escrita das componentes das forças,  $F_x$  e  $F_y$ . Escrevemos então que  $F_x = q. B. V_y$  e  $F_y = q. B. V_x$ , pois a força em x dependerá da componente y da velocidade e a força em y dependerá da componente x da velocidade, esse é um artifício que usamos na simulação que deve ser explicado aos alunos, para que haja clareza e entendimento no que se refere à construção do modelo. O segundo cuidado que temos que tomar se refere à região de movimentação da carga onde não existe campo, destacando que a força só começa a atuar na região de campo magnético. Nesse caso inserimos uma condição onde a força será igual a zero para y menor que um certo valor. Inserimos então essas equações no modelo matemático e interpretamos com  $m = 0,5\text{kg}$ ,  $B = 0,3\text{T}$ ,  $q = 0,2\text{C}$ . Esses valores não são realísticos e foram adotados para facilitar a visualização da simulação, já que as ordens de grandeza da massa, da carga e do campo em situações reais são muito diferentes. Usamos também as seguintes condições iniciais:

$V_{ox} = 0$ ,  $V_y = 1 \text{ m/s}$ ,  $X_0 = 0$ , e  $Y_0 = 0$ . Colocamos também a condição que  $F_y$  e  $F_x = 0$  para  $Y < 4 \text{ m}$ . Para realizar a animação do fenômeno inserimos uma partícula que teve as suas coordenadas horizontais e verticais ligadas às variáveis  $X$  e  $Y$ , respectivamente. Inserimos também um vetor para representar a velocidade resultante da partícula. A Figura 9.7 mostra a ilustração da animação do fenômeno.

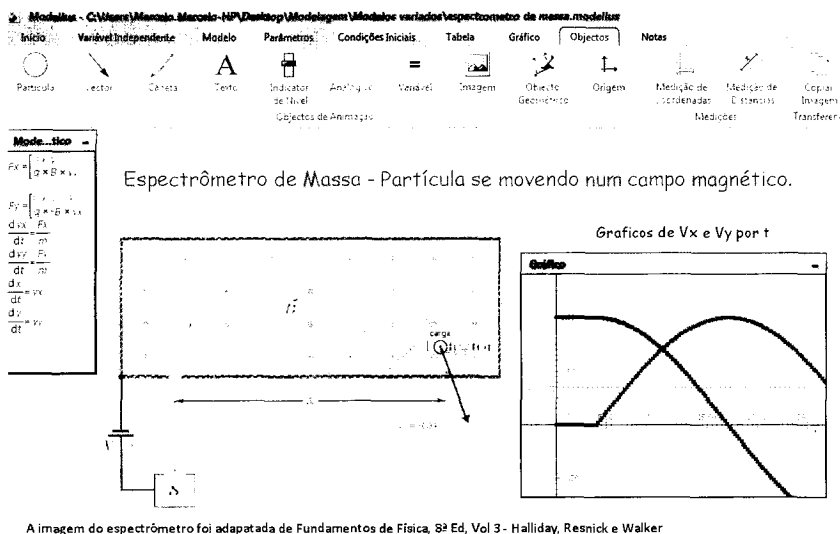


Figura 9.7 – Modelagem do Espectrômetro de Massa

Inserimos também uma imagem que foi adaptada de um livro texto de física para o nível superior (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009) mostrando a esquematização do espectrômetro. Nela o campo magnético aparece saindo da página, de modo que a orientação da força magnética que atua na carga será perpendicular à velocidade gerando assim uma resultante centrípeta que fará com que a carga faça um movimento curvilíneo. Além desses exemplos temos vários outros que podem ser usados no contexto do ensino superior.

No próximo capítulo vamos apresentar propostas de planos de aula estruturados para atividades que podem ser desenvolvidas na sala de aula usando o Modellus.



# Propostas de planos de aula

**N**esse capítulo vamos apresentar duas propostas de planos de aula para aplicar atividades com o uso do Modellus no ensino de física. Esses planos visam ser um instrumento de orientação metodológica para o professor iniciar a aplicação da ferramenta em seu contexto de sala de aula, e tem também como função exemplificar de forma mais prática como desenvolver as atividades e motivar cada professor a criar os seus próprios planos de aula e também roteiros para os alunos. A ideia é que esses planos sejam aplicados no contexto dos métodos ativos de ensino e também do ensino por investigação devido aos argumentos que já foram mencionados ao longo do texto.

A primeira atividade é voltada para aplicação no contexto do ensino médio, em geral no primeiro ano, quando os alunos veem o tema da cinemática. A situação apresenta dois corpos que se movem em sentidos opostos, um deles com aceleração constante e outro sem aceleração. A segunda atividade pode ser aplicada em cursos de física básica em nível superior, é uma atividade envolvendo o movimento oscilatório de um pêndulo com e sem amortecimento. Esse tópico em geral é discutido em cursos da disciplina de física 2, que

aborda a parte de movimento oscilatório. Como ele é apenas um modelo, o professor pode fazer as possíveis adaptações à sua realidade.

O plano de ensino consiste em:

# Introdução

# Objetivos

# Recursos

# Descrição 1: Explorando o Modelo

# Questões 1

# Descrição 2: Modificando o Modelo

# Questões 2

# Conclusão

Na introdução se faz uma breve abordagem do que se trata a situação abordada. Nos objetivos descrevemos aquilo que queremos que o aluno aprenda ao longo da atividade. Os recursos estão ligados à estrutura necessária para realizar a atividade, que nesse caso consiste na necessidade de computadores para os grupo de alunos envolvidos, em geral se pode utilizar o laboratório de informática da escola. Os computadores devem estar com o programa instalado e os modelos devem estar salvos neles. Esses modelos podem ser encontrados no site “Modelando a Física” ([www.modelandoafisica.wordpress.com.br](http://www.modelandoafisica.wordpress.com.br)), que traz os materiais adicionais a este livro ou também por contato direto com o autor. Cada modelo já vem com uma simulação pronta que pode ser modificada e com um enunciado que descreve a situação. Sugerimos que se faça uma combinação de duas das modalidades descritas no capítulo 2, a exploração individual ou em grupo e a construção individual ou em grupo. Na descrição 1 temos a parte da atividade que envolve a exploração do modelo e na descrição 2 temos a parte onde os alunos terão que modificar o modelo. O tópico questões 1 e 2 traz a parte

onde os alunos vão responder as questões propostas a partir da análise ou modificação do modelo. Essas questões devem ser disponibilizadas aos alunos, seja de forma impressa, escritas no quadro ou projetadas numa tela. O professor pode também usar essas e outras perguntas como base para construir um roteiro para os alunos que os guie na realização da atividade, nesse roteiro o professor pode incluir os princípios do método POE, que já foi descrito anteriormente, ou também fazê-lo usando o diagrama V. Os roteiros devem ser construídos sempre visando uma interação do aluno com o objeto de estudo, com seus pares e com o professor, de forma a privilegiar a aprendizagem ativa. A conclusão por sua vez descreve o momento em que o professor fará o fechamento da atividade, quer seja fazendo um apanhado geral ou explicitando algum ponto que não tenha ficado claro para os alunos.

É importante salientar que nesse tipo de atividade diferenciada o planejamento anterior à atividade é muito importante, de modo que o seu andamento não seja comprometido por algum imprevisto, detalhes como recursos disponíveis, tempo de cada aula, e bom funcionamento dos dispositivos são cruciais para o sucesso da proposta. O papel do professor também é fundamental, nesse caso, ele deve atuar como um condutor da atividade, interferindo apenas em momentos adequados e observando os alunos que necessitam de auxílio. A seguir apresentamos então as duas propostas de atividades no formato de um plano de aula.

## **Plano de Aula 1**

### **Movimento Retilíneo – Encontro de corpos**

#### **Introdução**

Essa atividade consiste na análise e exploração do movimento de dois corpos que caminham em linha reta, ambos tendo seus movimentos descritos pelas equações cinemáticas da posição e velocidade. Um dos corpos possui aceleração constante e velocidade inicial igual a zero, o outro não possui aceleração, mas possui velocidade inicial constante.

#### **Objetivos**

1 – Aprofundar o estudo do movimento com aceleração constante e o movimento sem aceleração no contexto de uma situação de encontro de corpos.

2 – Analisar graficamente o movimento dos corpos nas situações de encontro.

3 – Determinar posições e tempos de encontro analiticamente e comparar os resultados com os fornecidos pelos gráficos usando a ferramenta computacional.

#### **Recursos**

A atividade deverá ser realizada em um laboratório de informática onde os computadores tenham o software Modellus instalado e onde o modelo em questão esteja salvo. O ideal é que os alunos trabalhem em grupos de 2 ou 3 alunos.

#### **Descrição parte 1: Explorando o modelo**

Peça aos alunos para abrirem o arquivo do modelo que deve ter sido salvo na área de trabalho dos computadores previamente. A primeira parte da aula consiste na exploração



do modelo em questão. O professor deve fornecer um tempo de aproximadamente 10 minutos para que os alunos possam explorar o modelo. Peça a eles que leiam o enunciado proposto e analisem inicialmente o modelo matemático tentando identificar as características do modelo e em seguida rodar o modelo. Em seguida os alunos devem responder as questões parte 1.

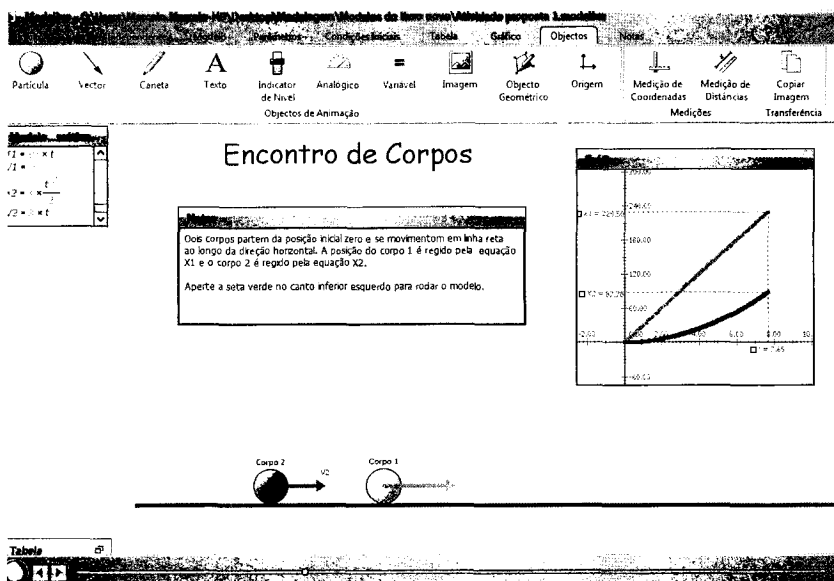


Figura 10.1 – Modelo referente ao plano de aula 1.

## Questões parte 1:

1 – Caracterize o movimento de cada corpo com base no modelo matemático e nos gráficos posição por tempo e velocidade por tempo?

2 – Determine analiticamente o instante e a posição que os corpos se encontram novamente. Identifique esses valores nos gráficos e veja se eles correspondem ao valor encontrado.

3 – Qual seria uma possível configuração nos parâmetros iniciais (aceleração e velocidades) para que o encontro não ocorra antes de 25s, que é o tempo máximo da simulação

nesse modelo? Simule essa configuração no programa e veja se sua hipótese estava correta.

## **Descrição parte 2: Modificando o modelo**

Nessa parte os alunos deverão inserir mais um corpo em movimento, chamando-o de corpo 3, e a partir daí fazer a análise dos três corpos se movimentando em linha reta. Peça a eles que escrevam a equação para o terceiro corpo que se movimenta no sentido contrário aos dois primeiros de modo que sua velocidade inicial seja zero e o módulo de sua aceleração seja  $2\text{m/s}^2$ . O corpo deve estar inicialmente a uma distância de 1000m dos outros dois corpos.

## **Questões parte 2**

1 – Determine o instante de encontro do corpo 3 com o corpo 1 e com o corpo 2 de forma analítica. Os resultados encontrados conferem com os apresentados nos gráficos posição por tempo para cada partícula? Caso haja diferença explique o porquê?

2 – Qual deve ser a aceleração do corpo 3 de modo que ele se encontre com o corpo 1 e 2 ao mesmo tempo?

3 – Simule essa situação no programa modificando a equação do terceiro corpo no modelo matemático. A simulação corresponde ao comportamento esperado?

## **Conclusão**

Ao final da aula o professor deve fazer uma discussão geral em conjunto com toda a turma abordando as questões propostas aos alunos e concluir a aula focalizando os aspectos principais para entendimento da situação descrita.

## **Plano de Aula 2**

### **Centro de massa de um Sistema de Partículas**

#### **Introdução**

Essa atividade consiste na análise e exploração de um modelo referente a um sistema de partículas em que o objetivo principal é explorar questões relativas ao centro de massa desse sistema. O sistema consiste inicialmente de três partículas dispostas no plano  $x$  e  $y$ , de massas diferentes com coordenadas diferentes. Os valores das massas e das coordenadas podem ser alterados no modelo. Outras partículas também podem ser inseridas no sistema. O tópico referente a centro de massa e sistema de partículas geralmente é visto nos cursos de nível superior de física geral 1, que aborda a mecânica newtoniana de forma introdutória.

#### **Objetivos**

1 – Possibilitar a visualização virtual de um sistema de partículas e identificar seu respectivo centro de massa.

2 – Permitir ao aluno a possibilidade de interagir com o sistema de partícula, mudando os valores das variáveis e perceber o que acontece com o centro de massa do sistema.

3 – Possibilitar a mudança no modelo matemático referente ao sistema de partículas incluindo outras partículas no sistema.

#### **Recursos**

A atividade deverá ser realizada em um laboratório de informática onde os computadores tenham o software Modellus instalado e o modelo em questão esteja salvo. O ideal é que os alunos trabalhem em grupos de 2 ou 3 alunos.

## Descrição parte 1: Explorando o modelo

Peça aos alunos para abrirem o arquivo referente à atividade, que deve ter sido salva na área de trabalho dos computadores previamente. A primeira parte da aula consiste na exploração do modelo em questão. O professor deve fornecer um tempo de aproximadamente 10 minutos para que os alunos possam explorar o modelo. Peça a eles que leiam o enunciado proposto e analisem inicialmente o modelo matemático tentando identificar as características do modelo. Peça para os alunos mudarem as posições de cada partícula, isso pode ser feito clicando em cima delas e as arrastando com o mouse. Eles também podem modificar o valor das massas das partículas através dos ícones que se encontram no canto superior esquerdo da área de trabalho. O modelo pode ser visto na Figura 10.2.

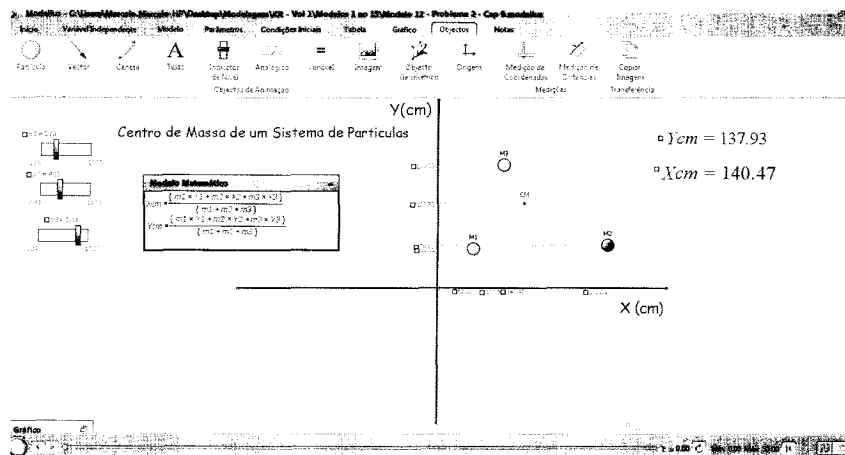


Figura 10.2 – Modelo relativo a atividade sobre centro de massa.

## Questões parte 1

1 – Quando aumentamos a massa de uma das partículas, o centro de massa se aproxima ou se afasta dessa partícula? Explique esse comportamento a partir do modelo matemático.

2 – Suponha que as partículas 1, 2 e 3 estejam nas seguintes posições, respectivamente: 1 (0,0); (100,100); (200,200), mantendo a massa dada inicialmente pelo modelo, calcule a posição do centro de massa do sistema. Coloque agora as partículas nessas posições. O valor dado pelo modelo corresponde ao valor encontrado em seu cálculo?

3 – Se todas as partículas tiverem massas iguais a 5kg e as partículas 1 e 2 estiverem nas posições (0, 200) e (200, 0) respectivamente, qual deve ser posição da partícula 3 para que o centro de massa tenha coordenada (0,0)? Faça o cálculo dessa situação e simule no modelo.

## **Descrição parte 2: Modificando o modelo**

Nessa parte os alunos devem inserir no modelo uma nova partícula, que chamaremos de partícula 4. A partícula pode ser inserida clicando na janela objetos e em seguida clicando em partícula e na área de trabalho. Escolha uma cor diferente das demais partículas. A origem da partícula deve coincidir com a origem do sistema de coordenadas. Deve-se criar também um indicador de nível horizontal associado à massa da partícula que permitirá modificar a sua massa. O valor desse indicador deve estar entre zero e 10.

## **Questões parte 2**

1 – Como deve ficar o modelo matemático agora afim de incluir essa nova partícula? Faça essa modificação no modelo.

2 – Crie uma configuração, mudando as massas e as posições da partículas de modo que o centro de massa fique dentro de uma dessas partículas. Qual é a principal característica dessa configuração?

3 – Mantenha todas as partículas com a mesma massa. Coloque a partícula 1 para se movimentar escrevendo no modelo matemático  $X1=6.t$  e  $Y1=6.t$ . Nesse caso

essa partícula irá realizar um movimento uniforme nas duas dimensões. Mantenha todas as partículas no primeiro quadrante. Calcule a velocidade do centro de massa do sistema a partir das equações das posições do centro de massa. Calcule também a velocidade do centro de massa a partir do gráfico posição ( $X_{cm}$ ,  $Y_{cm}$ ) por tempo que pode ser fornecido pelo programa. Os resultados encontrados são compatíveis? Explique.

### **Conclusão**

Ao final da aula o professor deve fazer uma discussão final em conjunto com toda a turma abordando as questões propostas aos alunos e concluir a aula focalizando os aspectos principais para entendimento da situação descrita.

Essas duas propostas de atividades são apenas alguns exemplos simples que podem ser realizados em sala de aula com o uso da modelagem, privilegiando um método de aprendizagem ativa, onde mais uma vez o aluno está em contato direto com o objeto de aprendizagem. Lembramos também que o desenvolvimento dessa e de outras atividades nos diversos contextos de ensino podem e devem se adaptar à realidade educacional em questão. Nosso objetivo com esses exemplos foi o de ilustrar de forma mais prática uma das possibilidades de uso da ferramenta.

# Considerações Finais

**A**o longo deste livro tentamos de forma objetiva abordar as principais potencialidades do uso da simulação e modelagem computacional, mediada pela ferramenta Modellus, no contexto da sala de aula de física. Sabemos que a inserção das novas tecnologias na prática dos professores de física e de ciências em geral é um desafio que perpassa por questões que vão desde a formação inicial e continuada do professor nesse campo até questões relativas às estruturas e recursos disponíveis em cada unidade escolar. Entendemos também que o uso das tecnologias na educação não é a solução definitiva para os problemas que enfrentamos como professores de física no dia a dia, como a falta de motivação e interesse dos alunos, o ensino descontextualizado, currículos defasados, entre outros. Em contrapartida, percebemos que a adoção de práticas diferenciadas e mais envolventes por parte dos professores pode contribuir para que o ensino seja mais eficaz e que possa levar o aluno a um melhor desenvolvimento de suas habilidades intelectuais e cognitivas. Ao analisarmos as pesquisas desenvolvidas ao longo dos últimos anos sobre o uso do Modellus em sala de aula, podemos perceber que essas atividades têm um

potencial para cumprir o papel descrito anteriormente. Há de se levar em conta que a dinâmica e o trabalho de cada professor em sala de aula são fatores muito peculiares, que carregam as características pessoais de cada indivíduo. Dessa forma, uma ferramenta e uma estratégia que se adequam ao perfil de um dado professor podem não se adequar a de outro, mas o importante é que como docentes tenhamos um autoconhecimento de nossas habilidades e características, tanto pessoais como profissionais, de modo a ajustá-las às diversas metodologias para que elas possam suprir as necessidades do contexto educacional no qual estamos inseridos, e ajudar nosso aluno a se desenvolver tanto intelectualmente como ser humano, como cidadão e também como um futuro profissional.

Dessa forma, as atividades computacionais com o programa Modellus apresentadas neste texto poderão sofrer adaptações dependendo do contexto de utilização, do conteúdo abordado e do nível das turmas nas quais as atividades estão sendo aplicadas, porém, o mais importante é que essas novas práticas pedagógicas sejam incorporadas na bagagem dos docentes tanto na disciplina de física como em outras áreas. Como já foi dito, a ferramenta Modellus possui um potencial muito grande no que diz respeito a uma aprendizagem com caráter construtivista, pois propicia uma forte interação entre o aluno e o objeto de estudo, e as propostas sugerem um novo papel para o professor, que é o de ser um mediador ou condutor da construção desse conhecimento. Sabemos que cumprir esse papel, abandonando o paradigma tradicional da distribuição de conhecimento, requer um grande esforço por parte dos docentes, mas essa mudança é necessária se queremos gerar uma mudança real no ensino.

Acreditamos também que o mais importante em todo esse processo não é a ferramenta computacional em si, mas que o foco principal da abordagem esteja na metodologia empregada. A ferramenta, por sua vez, por ter um



caráter interativo, apenas abre as portas para possibilidades de ensino que o método tradicional muitas vezes não contempla, por isso sugerimos a sua aplicação no contexto de abordagens que privilegiem os métodos ativos de ensino, onde o aluno tem máxima participação e envolvimento no processo de aprendizagem e também uma metodologia que tenha um forte caráter investigativo, como foi descrito no capítulo 3, pois, ao fazer o aluno pensar, discutir e propor hipóteses sobre questões relacionadas a determinados fenômenos como ponto de partida, podemos levá-lo a construir um conhecimento mais sólido e significativo. Nessas discussões os alunos devem ser levados a interagirem entre seus pares de modo que a troca de significados e a busca de possíveis explicações os retirem do papel passivo e os tornem agentes ativos no desenvolvimento de seu próprio conhecimento.

Longe de querer esgotar as aplicações e especificidades desse programa, nosso texto teve a pretensão apenas de dar uma introdução a essa ferramenta, ficando para o leitor o seu aprofundamento dentro do grau de interesse e necessidade de cada abordagem e utilização. Ao longo do texto citamos alguns artigos, dissertações e teses que podem ser encontrados através das referências bibliográficas relatando o uso da ferramenta Modellus, e os resultados dessas aplicações. O leitor, portanto, poderá consultá-las a fim de se aprofundar no tema. Sugerimos também aqui alguns sites para consultas posteriores nos quais será possível ter acesso a tutoriais em vídeo e modelos prontos para serem usados, como também aos modelos trabalhados ao longo do texto.

O primeiro site que queremos sugerir é a página oficial do software Modellus ([www.modellus.com](http://www.modellus.com)), desenvolvida e mantida por Pedro Duque de Portugal, que é atualmente o responsável pelas atualizações e implementações do programa. Nesse site o leitor encontrará várias versões do Modellus para baixar como também exemplos e tutoriais de

modelos já prontos. Um outro site que também traz alguns materiais relativos ao Modellus é o site “Física na Lixa” ([fiscanalixa.blogspot.com](http://fiscanalixa.blogspot.com)) desenvolvido pelo professor Albino Rafael, que atua em escolas de nível médio em Portugal e trabalha com a divulgação do ensino da física. O site traz vídeos mostrando simulações construídas no Modellus 4.01 e Modellus X e permite também que o usuário salve os modelos prontos em seu computador. Também é possível encontrar alguns tutoriais sobre o Modellus numa série de vídeos no Youtube intitulada “Motivação para o ensino de física com o Modellus” no canal do professor João Valente, que também é um professor que atua em escolas de Portugal e tem trabalhado com o programa Modellus. Os modelos utilizados ao longo do nosso texto podem ser encontrados no site “Modelando a Física” ([modelandoafisica.wordpress.com.br](http://modelandoafisica.wordpress.com.br)), que é um site de nossa autoria voltado para a divulgação de materiais que envolvem simulação e modelagem de situações físicas com o Modellus. Esperamos que esta obra possa contribuir de forma significativa para a inserção de novas práticas educacionais no ensino de física no que diz respeito ao uso das ferramentas computacionais para propiciar aos alunos um desenvolvimento intelectual ativo, reflexivo e inspirador. A partir dessa visão encerramos este livro com uma frase da educadora e escritora norte-americana Ellen Gold White:

*O objetivo da verdadeira educação é desenvolver nos jovens a capacidade de pensar e não apenas reproduzir os pensamentos de outros.*

**Contato com o autor para apresentações, palestras e minicursos com o Modellus através do e-mail:**

**[marcelo.andrade@ifes.edu.br](mailto:marcelo.andrade@ifes.edu.br)**

# Referências

- ANDRADE, M. E. O Uso da Ferramenta Modellus no Ensino de Física: Uma abordagem a Luz da Teoria dos Campos Conceituais. *Informática na Educação: Teoria e Prática*. Porto Alegre. v. 18, n.1, p. 27-33, jul. 2015.
- ANDRADE, M. E. *O Uso das Novas Tecnologias da Informação e Comunicação no Ensino de Física: Uma abordagem através da Modelagem Computacional*. 2010. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- ARANTES, A. R; MIRANDA, M. S; STUDART, N. Objetos de Aprendizagem no ensino de física: usando simulações do PheT. *Física na Escola*, v. 11, n. 1, 2010.
- ARAUJO, I. S; BRANDÃO, R.V; VEIT, E.A. A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física, *Física na Escola*, São Paulo, v. 9, n. 1, 2008.
- ARAÚJO, I. S. *Simulação e Modelagem Computacionais como Recursos Auxiliares no Ensino de Física Geral*. 2005. Tese de Doutorado. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- ARAÚJO, I.S. *Um estudo sobre o desempenho de alunos de Física usuários da ferramenta computacional Modellus na interpretação de gráficos em cinemática*. 2002. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- ARAÚJO, I, S; VEIT, E, A; MOREIRA, M. A. *Adaptação do Vê de Gowin para a modelagem e simulação computacionais aplicada ao ensino*. In: MOREIRA, M. A (Org). *Mapas Conceituais e Diagramas V*. Porto Alegre: p. 96-103, 2006.

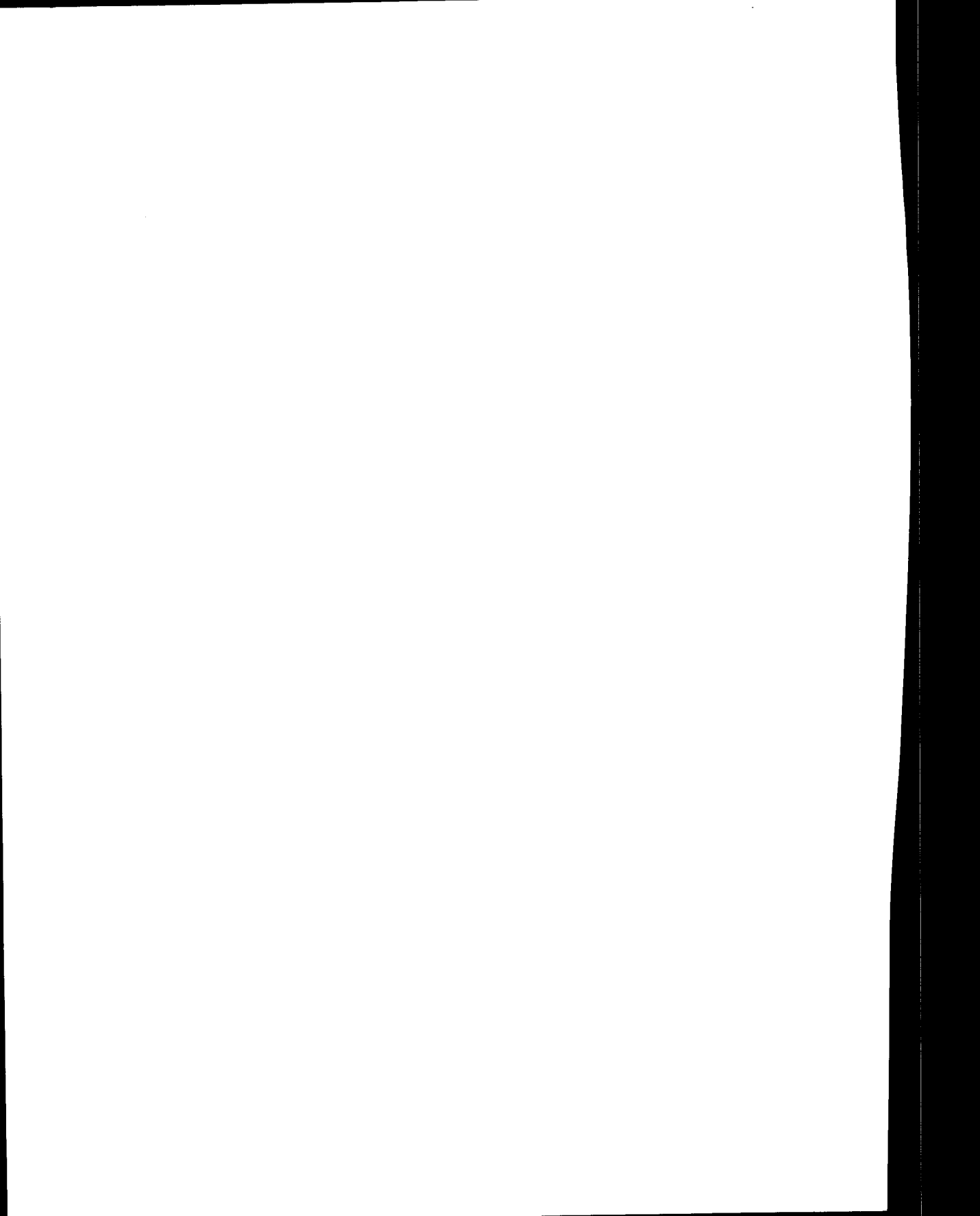
- BALEN, O.; NETZ, P. A. Modelagem e Simulação Computacional no Estudo de Gases Ideais e Reais, *Acta Scientiae*, v. 7, n. 2, 2005.
- BARROS, J. A; REMOLD, J; DASILVA, S, F; TAGLIATI, J, R. Engajamento Interativo no curso de Física I da UFJF. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 26, n. 1, p.63-69, 2004.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCN+- ENSINO MÉDIO, *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília. 1999.
- BUNGE, M. *Teoria e Realidade*. Tradução: Gita K. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 2008.
- CAMILETTI, G. *Modelagem Computacional Semiquantitativa no Estudo de Tópicos de Ciências: Um Estudo Exploratório com Estudantes Universitários*. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.
- CAPECHI, M. C. M; CARVALHO, A. M. P. Atividades de laboratório como Instrumentos para a abordagem da cultura científica em sala de aula, *Por-Posições*, v. 17, n. 1, p. 137-153, 2004.
- CARVALHO, A. M. P. *Termodinâmica: um ensino por investigação*. São Paulo: FEUSP, 1999.
- DIAS, L. F. *A Noção de Referencial: Uma Interação Cognitiva entre a Mecânica Newtoniana e a Relativística*. 2010. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- DORNELES, P. F. T. *Integração entre as Atividades Computacionais e Experimentais como Recurso Instrucional no Ensino de Eletromagnetismo em Física Geral*. 2010. Tese de Doutorado. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- DORNELLES, P.F. T; ARAUJO, I. S; VEIT, E. A. Simulação e modelagem computacional no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: Parte I - Circuitos elétricos simples. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 487-496, set. 2006.
- FERRACIOLI, L. O V Epistemológico como Instrumento Metodológico para o Processo de Investigação. *Revista Didática Sistêmica*, v. 1, n. 1, p. 106-25, 2005.

- FERRACIOLI, L.; SAMPAIO, F. F. Informação, Ciência, Tecnologia e Inovação Curricular em Cursos de Licenciatura. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 8, n. 1, 2001.
- GOWIN, D. B. *Educating*. Ithaca: Cornell University Press, 1981.
- HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J. *Fundamentos de Física*. v. 1, 2 e 3. 8. ed. LTC, 2009.
- MAZUR, E. *Peer instruction: A user's manual*. Pap/Dskt ed. [S.l.] Prentice Hall, 1997.
- MOREIRA, M. A. *Diagramas V no ensino de Física*. Porto Alegre: Instituto de Física/ UFRGS, 1997.
- NOVAK, G. M. *et al. Just-in-time teaching: blending active learning with web technology*. [S.l.] Prentice Hall, 1999.
- OLIVEIRA, R. L. J. *Problemas de Curvas de Perseguição no Ensino Médio: Usando o Modellus como Ferramenta Interativa*. 2011. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- PERRENOUD, P. *Dez novas competências para ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 2000.
- SANTOS, A. K. *Modelagem Computacional utilizando STELLA: Considerações teóricas e aplicações em gerenciamento, física e ecologia de sistemas*. Porto Alegre: Editora da FURG, 2002.
- TAO, P.K., GUNSTONE, R.F. Conceptual Change in Science through Collaborative Learning at the computer. *International Journal of Science Education*. v. 21, n.1, pp.39-57, 1999.
- VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no ensino/aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares para o ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 87-96, jun. 2002.
- WITHE, E. G. *Educação*. Tatuí: CPB, 2011.



## Sobre o Autor

**Marcelo Esteves de Andrade** é licenciado em Física pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Trabalha na pesquisa e implementação da modelagem computacional no contexto do ensino de física em nível médio e superior. É professor do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) onde atua na licenciatura em física e também em cursos técnicos de nível médio e é um dos coordenadores do NEEF, Núcleo de Estruturação do Ensino de Física.





## Livros da Série MNPEF

### SIMULAÇÃO E MODELAGEM COMPUTACIONAL COM O SOFTWARE MODELLUS:

Aplicações práticas para o ensino  
de física

*Marcelo Esteves de Andrade*

### A CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA CONCEITUAL DA FÍSICA CLÁSSICA

*Antony M. M. Polito*

### MECÂNICA QUÂNTICA:

Um curso para professores da  
Educação Básica

*Silvana Perez*

### FÍSICA E MÚSICA

*Maria Lúcia Grillo*

*Luiz Roberto Perez*

*(Organizadores)*

### MECÂNICA QUÂNTICA BÁSICA

*Marcel Novaes*

*Nelson Studart Filho*

**E**ste livro traz uma introdução à construção de simulações e modelos computacionais com o programa Modellus no contexto do ensino de física. O Modellus é uma ferramenta computacional criada para fins educacionais na área de ensino de ciências e matemática. A partir de exemplos práticos, o autor ensina como construir simulações e modelos computacionais com o software que poderão ser usados por professores de física na sala de aula, tanto em nível médio como superior. Além disso, também é feita uma discussão sobre o uso da tecnologia computacional no contexto dos métodos ativos de ensino e também da aprendizagem por investigação.



**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

