

IVES SOLANO ARAUJO

**UM ESTUDO SOBRE O DESEMPENHO DE ALUNOS DE FÍSICA USUÁRIOS
DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL *MODELLUS* NA INTERPRETAÇÃO
DE GRÁFICOS EM CINEMÁTICA***

**Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Física, Curso
de Pós-Graduação em Física, Instituto de Física,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Moreira

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Eliane Angela Veit

**PORTO ALEGRE
2002**

* Trabalho parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

A minha família e amigos pelo apoio constante.

AGRADECIMENTOS

Agradeço

- Aos professores Eliane Angela Veit e Marco Antonio Moreira, pela dedicada orientação e ajuda.
- Ao professor Fernando Lang da Silveira, pelo valioso auxílio na parte do tratamento estatístico dos dados.
- Aos professores Maria Helena Steffani, Trieste Ricci, Paulo Machado Mors e Fernando Lang da Silveira que, juntamente com os orientadores, compuseram a banca de especialistas que validou o teste inicial e final em relação ao conteúdo.
- A Patrícia F. Carrasco que soube conviver com as necessárias ausências.
- Aos meus “companheiros de viagem” Daniela Kempf, Karen P. Bastos, Luis F. Zagonel, Marcelo R. Thielo, Maikel M. Traversi pelo apoio nos momentos difíceis.
- Aos professores, funcionários e colegas do Instituto de Física da UFRGS, pelos ensinamentos e amizade.

Meu especial agradecimento a todas as pessoas que colaboraram como sujeitos da pesquisa.

*“Uma descoberta, seja feita
por um menino na escola ou por um
cientista trabalhando na fronteira do
conhecimento, é em sua essência uma
questão de reorganizar ou transformar
evidências, de tal forma que se possa ir
além delas assim reorganizadas,
rumo a novas percepções”*

Jerone Bruner

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1 APLICAÇÕES DO <i>MODELLUS</i>	7
2.2 INTERPRETAÇÃO DE GRÁFICOS DA CINEMÁTICA	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 A TEORIA DE APRENDIZAGEM DE DAVID AUSUBEL	18
3.1.1 Aprendizagem Mecânica	19
3.1.2 Subsunçores	19
3.1.3 Condições para a Aprendizagem Significativa	20
3.2 MODELAGEM ESQUEMÁTICA	21
3.2.1 O Processo de Modelagem Esquemática	25
3.2.2 Modelagem Esquemática para a Resolução de Problemas de Paradigma	26
3.2.2.1 Seleção do modelo	27
3.2.2.2 Construção do modelo	27
3.2.2.3 Validação do modelo	28
3.2.2.4 Análise do modelo	28
3.2.2.5 Expansão do modelo	28
4 OBJETO DE ESTUDO E METODOLOGIA	30
4.1 OBJETO DE ESTUDO	30
4.2 DELINEAMENTO DE PESQUISA	31
4.3 AMOSTRA	31
4.4 ELABORAÇÃO, VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DO TESTE INICIAL	32
4.5 TRATAMENTO	33
4.6 ELABORAÇÃO, VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DO TESTE FINAL	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 ANÁLISE DE FIDEDIGNIDADE DOS TESTES INICIAL E FINAL	37
5.2 COMPARAÇÃO ENTRE O GRUPO EXPERIMENTAL E O DE CONTROLE	38
5.3 ANÁLISE DO LEVANTAMENTO DE OPINIÕES E DAS ENTREVISTAS	44

6 CONCLUSÃO	49
7 APÊNDICES	
7.1 APÊNDICE A	53
7.2 APÊNDICE B	62
7.3 APÊNDICE C	74
7.4 APÊNDICE D	108
REFERÊNCIAS	109

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Objetivos do teste TUG-K de compreensão de gráficos da Cinemática	16
TABELA 2 - Dificuldades dos estudantes em interpretação de gráficos da Cinemática	16
TABELA 3 - Delineamento da pesquisa	31
TABELA 4 - Síntese da Análise de Consistência Interna para os testes inicial e final aplicados às turmas piloto	37
TABELA 5 - Síntese da Análise de Consistência Interna para os testes inicial e final aplicados às turmas do curso de Física	38
TABELA 6 - Correlação item-total e coeficiente alfa se o item especificado na primeira coluna da tabela for eliminado dos testes inicial e final	39
TABELA 7 - Discriminação das escolhas realizadas pelos alunos ao responderem o teste inicial. Os escores das alternativas corretas estão em negrito	40
TABELA 8 - Discriminação das escolhas realizadas pelos alunos ao responderem o teste final. Os escores das alternativas corretas estão em negrito	41
TABELA 9 - Comparação entre o desempenho dos alunos nas questões comuns aos testes inicial e final	42
TABELA 10 - Comparação entre o grupo experimental e o grupo de controle nas médias do teste inicial e final	43
TABELA 11 - Comparação entre o grupo experimental e o grupo de controle nas médias ajustadas do teste final	44
TABELA 12 - Visão geral da opinião dos alunos sobre o tratamento	48

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Ilustração das principais características do <i>Modellus</i> (Veit e Teodoro, 2002)	9
FIGURA 2 - Fluxograma explicitando os passos necessários para o desenvolvimento de um teste (Beichner, 1994)	15
FIGURA 3 - Representação esquemática do processo de modelagem (Hestenes <i>apud</i> Halloun, 1996)	26
FIGURA C.1 - Tela ilustrativa do modelo Gposhv.mdl	75
FIGURA C.2 - Tela ilustrativa do modelo Espiral.mdl	76
FIGURA C.3 - Tela ilustrativa do modelo Mov_h1.mdl	78
FIGURA C.4 - Tela ilustrativa do modelo Noel_bar.mdl	79
FIGURA C.5 - Tela ilustrativa do modelo Incl_xt.mdl	81
FIGURA C.6 - Tela ilustrativa do modelo V1_area1.mdl	82
FIGURA C.7 - Tela ilustrativa do modelo Mov_h2.mdl	91
FIGURA C.8 - Tela ilustrativa do modelo Areas.mdl	93
FIGURA C.9 - Tela ilustrativa do modelo Acelera.mdl	95
FIGURA C.10 - Tela ilustrativa do modelo Ac_incl.mdl	97
FIGURA C.11 - Tela ilustrativa do modelo Quant.mdl	99
FIGURA C.12 - Tela ilustrativa do modelo Revesam.mdl	100

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o de investigar o desempenho de estudantes quando expostos a atividades complementares de modelagem computacional na aprendizagem de Física, utilizando o *software Modellus*. Interpretação de gráficos da Cinemática foi o tópico de Física escolhido para investigação. A fundamentação teórica adotada esteve baseada na teoria de Halloun sobre modelagem esquemática e na teoria de Ausubel sobre aprendizagem significativa.

O estudo envolveu estudantes do primeiro ano do curso de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Vinte seis destes estudantes - grupo experimental - foram submetidos a atividades de modelagem exploratórias e de criação durante um breve intervalo de tempo (quatro encontros, com 2h15min cada). Vinte e seis outros estudantes constituíram um grupo de controle, adotando-se um delineamento quasi-experimental.

Os resultados deste trabalho mostram que houve melhorias estatisticamente significativas no desempenho dos alunos do grupo experimental, quando comparado aos estudantes do grupo de controle, submetidos apenas ao método tradicional de ensino. A percepção do aluno em relação à relevância de conceitos e relações matemáticas, bem como a motivação para aprender, gerada pelas atividades, desempenharam um papel fundamental nesses resultados. Além disso, registrou-se alta receptividade em relação ao tratamento utilizado.

ABSTRACT

The purpose of this work was to investigate students' performance while exposed to complementary computational modelling activities in the learning of physics, using the software *Modellus*. Interpretation of kinematics graphs was the physics topic chosen for investigation. The theoretical framework adopted was based on Halloun's schematic modelling theory and on Ausubel's meaningful learning theory.

The study was carried out with freshmen physics majors of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Twenty six of these students - the experimental group - have been submitted to modelling activities during a short time interval (four meetings, with 2h15min each one). Twenty six others students have composed the control group; a quasi-experimental design was used.

The results of this work show that there has been a statistically significant improvement on the experimental group students' performance when compared to the control group, submitted just to the tradicional teaching method. The students' perception with respect to the concepts and mathematical relations, as well as the motivation to learn, originated by the activities, have played a fundamental role on these findings. In addition, the experimental treatment was very well received by the students.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, as atividades de ensino de Física estão permeadas de propostas didáticas envolvendo o uso de computadores, onde *softwares* cada vez mais elaborados vêm sendo criados na tentativa de facilitar a construção do conhecimento por parte do estudante. Entretanto, poucos são os estudos sistemáticos sobre a influência destes programas no processo de ensino/aprendizagem. Dentre as propostas didáticas mais significativas podemos destacar as cinco principais modalidades de uso do computador no ensino de Física: tutoriais (*Interactive Journey Through Physics, The Particle Adventure*); aquisição de dados (*Science Workshop, Real Time Physics, VideoPoint*); simulação (*Interactive Physics, xyZET, Graphs and Tracks*); modelagem (*Stella, Dynamo, PowerSim, Cellular Modelling System, Modellus*).

Planilhas eletrônicas (*Excel, Lotus, Qpro, Kspread, Gnumeric, etc.*) e outros *softwares* matemáticos (*MathCad, Octave, Matlab, Mathematica, etc.*) também podem ser considerados como ferramentas de modelagem e são utilizados no ensino de Física (*Workshop Physics Tools*, por exemplo). Porém, consideraremos como ferramentas de modelagem neste trabalho, apenas *softwares* que tenham como propósito fundamental a análise qualitativa dos fenômenos estudados (*Stella, PowerSim, Cellular Modelling System, Modellus, etc.*) e não a computação numérica (apesar deles serem poderosos o suficiente para isto).

Trabalharemos com a idéia de modelos físicos vistos como descrições simplificadas e idealizadas de sistemas ou fenômenos físicos, aceitos pela comunidade científica, que envolvem elementos como representações (externas), proposições semânticas e modelos matemáticos subjacentes; estes, passaremos a denominar simplesmente de modelos. Entenderemos modelagem como um processo de criação de um modelo, dividido em cinco estágios não-hierárquicos: seleção, construção,

validação, análise e expansão do modelo, onde os três estágios intermediários sobrepõem-se, podendo ser conduzidos ao mesmo tempo (Halloun, 1996).

Dentre as ferramentas de modelagem disponíveis atualmente, o *Modellus* (Teodoro, Vieira e Clérigo, 1997) destaca-se por permitir que estudantes e professores façam experimentos conceituais utilizando modelos matemáticos definidos a partir de funções, derivadas, taxas de variação, equações diferenciais e equações a diferenças, escritos de forma direta, ou seja, assim como o aluno aprendeu na sala de aula sem a necessidade de metáforas simbólicas, tais como os diagramas de Forrester utilizados nos modelos confeccionados com o STELLA (Santos et al., 2000). Outra característica importante provida pelo *Modellus* é a representação múltipla, i.e., o usuário pode criar, ver e interagir com as representações analíticas, analógicas e gráficas dos objetos matemáticos (Teodoro, 1998).

O *Modellus* possui uma interface gráfica intuitiva, o que vem a facilitar a interação dos estudantes com modelos em tempo real e a análise de múltiplas representações desses modelos, permitindo também, observar múltiplos experimentos (conceituais) simultaneamente. Vale a pena destacar que o *Modellus* é um programa de distribuição gratuita e vem sendo muito utilizado em diversos países, tendo sido traduzido para vários idiomas (inglês, espanhol, eslovaco, grego e português do Brasil), inclusive logo após a sua criação (Teodoro, Vieira e Clérigo, 1997) o *software* obteve reconhecimento internacional (vencedor do “1996 *Software Contest of the Journal Computer in Physics*” promovido pela “American Physical Society”; 1º prêmio da Categoria de Ciência do Concurso Nacional de *Software* Microsoft, 1998, em Lisboa, Portugal). O *Modellus* foi também um finalista da SPA (US *Software Publishers Association*) em 1998.

Apesar de o *Modellus* vir sendo bastante utilizado como uma ferramenta de auxílio ao ensino de Física, desconhecemos, como será abordado no capítulo de revisão bibliográfica, a realização de qualquer estudo no sentido de determinar explicitamente os eventuais ganhos obtidos pelos alunos, em termos de aprendizagem, após trabalharem com o *Modellus*. O presente trabalho visa contribuir para o preenchimento desta lacuna propondo a investigação do desempenho de alunos expostos a atividades complementares envolvendo criação e exploração de modelos com esse *software* e a subsequente comparação destes resultados com o desempenho de outros alunos submetidos somente ao modo tradicional de ensino.

Um dos principais recursos disponíveis no *Modellus* são as suas saídas gráficas, que podem ser vistas simultaneamente com animações. Um gráfico permite-nos resumir uma grande quantidade de informações e reconhecer facilmente dados de um evento físico, que de outra forma seriam mais difíceis de identificar. Para um cientista, trabalhar confortavelmente com gráficos é uma habilidade indispensável. O tema interpretação de gráficos da Cinemática, i.e, gráficos de posição, velocidade, ou aceleração versus tempo, geralmente, é o primeiro estudo envolvendo o uso de gráficos de forma mais extensiva nos cursos de Física. No entanto, este tema nem sempre é bem compreendido pelos estudantes.

Segundo Beichner (1996) a crença de que os gráficos são uma espécie de fotografia do movimento é, provavelmente, a principal confusão que os alunos fazem ao se depararem com gráficos da Cinemática. Como um exemplo óbvio desta situação, imaginemos um garoto numa bicicleta descendo uma colina e depois ficando sobre um pequeno morro. Quando os alunos são solicitados a traçarem gráficos cinemáticos relevantes da situação, freqüentemente o que é traçado é um gráfico y versus x , mostrando a descida da colina e a subida no pequeno morro ao invés de um gráfico de y (ou qualquer outra variável cinemática) versus t . Este erro é especialmente

problemático quando o movimento horizontal é uma função linear do tempo. No movimento de projéteis, por exemplo, as curvas nos gráficos altura versus alcance e altura versus tempo têm o mesmo formato parabólico, fazendo com que a visão de gráficos como fotografias do movimento seja difícil de detectar, pois o estudante pode estar trabalhando com um tipo de gráfico, mas pensando em outro.

O uso de uma ferramenta que pudesse descrever os processos dinamicamente, permitindo ao aluno interagir com o movimento dos corpos envolvidos ao mesmo tempo em que observa os gráficos sendo traçados, como pode ser feito no *Modellus*, poderia vir a facilitar a sua compreensão do evento. Deste modo, o tema interpretação de gráficos da Cinemática mostra-se apropriado na elaboração de atividades com o *Modellus*.

Vários estudos encontrados na literatura (Brassel, 1987; Mokros e Tinker, 1987; Testa et al., 2002) narram o desenvolvimento de propostas de ensino de Física que foram bem sucedidas em aumentar as habilidades de interpretação de gráficos a partir de experiências de aquisição de dados em tempo real utilizando o computador (propostas MBL: “Microcomputer-Based Laboratory”). Os pesquisadores começaram inicialmente a investigar a que se devia esta melhora na interpretação. Uma das dificuldades que mais apareceram nos trabalhos foi a da interpretação errônea por parte dos alunos dos gráficos como fotografias da trajetória do movimento. As melhorias promovidas pelas atividades utilizando MBL pareciam estar intimamente vinculadas a esta questão, pois estas atividades permitiam aos alunos observar o traçado em tempo real dos gráficos conforme a experiência se desenvolvia.

Em algumas experiências, os alunos usavam o próprio corpo como objeto de estudo na análise dos movimentos. Esses movimentos eram detectados através de sensores e os dados obtidos eram utilizados para traçar gráficos cinemáticos na tela do

computador. Suspeita-se que esta interatividade seja a força motriz da melhoria na interpretação de gráficos ocasionada pelas atividades envolvendo MBL.

Beichner (1990) propôs um estudo onde o *feedback* sinestésico fosse completamente removido, somente dando aos estudantes réplicas visuais de situações de movimento. A produção dos gráficos foi sincronizada com a reanimação do movimento de forma que os estudantes pudessem ver o objeto se movendo e o traçado de um gráfico cinemático, correspondente a este movimento, simultaneamente. Os resultados obtidos neste estudo indicam que esta técnica não apresentou uma vantagem educacional sobre a forma de instrução tradicional. O autor argumenta que desde que Brassel (1987) e outros pesquisadores demonstraram a superioridade das práticas utilizando MBL em relação às técnicas tradicionais de ensino, os resultados de seu estudo sugerem que a justaposição visual não é uma variável relevante na melhora do desempenho dos alunos na interpretação de gráficos da cinemática. O fator que realmente faz a diferença segundo Beichner é a interatividade do estudante com o experimento.

O nosso estudo baseia-se na proposta de atividades complementares de ensino envolvendo a exploração e a construção de modelos como um processo de interação (experimento-aluno). A exploração do modelo faz com que o estudante se questione constantemente sobre os efeitos de suas ações sobre os resultados gerados pelo modelo, normalmente esta questão pode ser descrita como: - se eu alterar "isso" o que acontece com "aquilo"? Este raciocínio causal subjacente servirá como pano de fundo para a promoção da interatividade. As atividades de ensino elaboradas visam levar o aluno a questionar-se sobre as relações existentes, entre os conceitos cinemáticos e os gráficos do movimento de um determinado móvel em questão.

No próximo capítulo, faremos uma revisão da literatura pertinente. Nos demais, sucessivamente, serão enfocados o referencial teórico da pesquisa, o objeto de estudo e a hipótese de pesquisa, a metodologia utilizada, a análise dos resultados e as conclusões.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo revisamos a literatura nas principais revistas de pesquisa da área de ensino de ciências em busca de relatos envolvendo a aplicação do *Modellus* e trabalhos sobre a interpretação de gráficos da Cinemática por parte dos estudantes. Foram consultadas¹ as seguintes revistas: *American Journal of Physics* (1980-2002), *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (1984-2002), *Journal of Research on Science Teaching* (1980-2002), *Revista Brasileira de Ensino de Física* (1980-2002), *Intenational Journal of Science Education* (1987-2002), *Science Education* (1980-1995; 1997-1998; 2001-2002) e *Enseñanza de las Ciencias* (1983-2001), bem como trabalhos disponíveis na Internet. Vários estudos sobre interpretação de gráficos da Cinemática foram encontrados, porém não encontramos relatos de pesquisas utilizando o *Modellus*².

2.1 APLICAÇÕES DO *MODELLUS*

Teodoro (1998) apresenta alguns aspectos da ferramenta computacional *Modellus* e discute as condições necessárias para um uso bem sucedido do *software*. Em um primeiro momento, o autor define o *conceito de modelo como uma representação simplificada de um sistema*, não objetivando representar todas as características do mesmo. De acordo com Webb e Hassel (*apud* Op. cit., p. 13-14) existem cinco famílias de modelos em geral:

- modelos de sistemas dinâmicos;
- modelos de distribuição espacial;

¹ A pesquisa bibliográfica envolvendo a aplicação do *Modellus* com estudantes foi feita a partir do ano de sua criação, ou seja, 1996.

² Por vias pessoais, obtivemos um relato de aplicação do *Modellus* através do Prof. Vitor Duarte Teodoro em sua Tese de doutorado, não defendida até a presente data.

- modelos qualitativos do raciocínio lógico;
- modelos de eventos probabilísticos;
- modelos de análise de dados.

Na Física, muitos modelos representam sistemas dinâmicos, i.e., os modelos que estabelecem alguma espécie de relação matemática entre quantidades físicas e o tempo, considerado como uma variável independente. São estes os modelos que servirão como nosso objeto de estudo. Buscando evidenciar as potencialidades do *Modellus*, Teodoro o analisa através de dois pontos de vista.

Do *ponto de vista computacional*, o programa pode ser visto com um micromundo no computador para uso tanto dos estudantes quanto dos professores, não sendo baseado numa metáfora de programação. Na “janela do modelo” o usuário pode escrever modelos matemáticos, quase sempre da mesma forma que a manuscrita do dia-a-dia, dispensando o aprendizado de uma nova linguagem para a elaboração desses modelos.

Do *ponto de vista educacional*, o *Modellus* incorpora tanto os modos expressivos quanto os modos exploratórios das atividades de aprendizagem (Bliss e Ogborn *apud* Teodoro, 1998), como pode ser observado na figura 1. Em uma atividade de aprendizado expressiva, os estudantes podem construir seus próprios modelos matemáticos e criar diversas formas para representá-los. Em um modo exploratório, os alunos podem usar modelos e representações feitos por outros, analisando como grandezas diferentes se relacionam entre si ou visualizando a simulação de um evento físico. O delineamento pedagógico do *Modellus* admite que o computador é uma ferramenta cognitiva, mas não substitui habilidades humanas de alta ordem, ou seja, assume-se que o *Modellus* auxilia na aprendizagem, mas que a “inteligência, emoção, cultura, poesia e arte residem no usuário, não no *software*” (Teodoro, 1998).

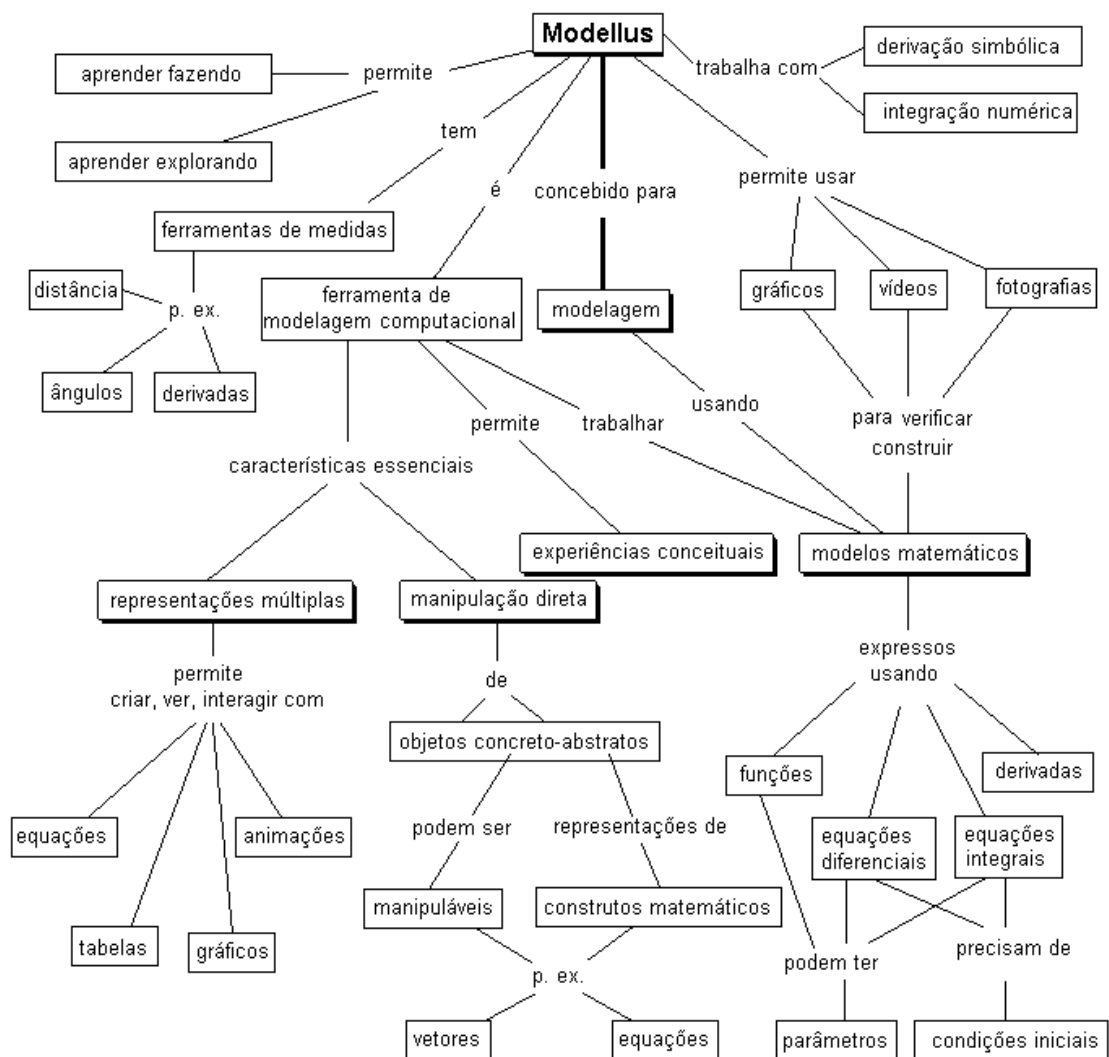


FIGURA 1 – Ilustração das principais características do *Modellus* (Veit e Teodoro, 2002).

Quanto à aplicação do *software* no currículo, Teodoro (Op.cit.) argumenta que é impossível, devido à natureza do uso do computador e da disponibilidade dos recursos, concentrar esforços simultaneamente sobre todos os segmentos do currículo, sugerindo que os esforços sejam concentrados apenas no Ensino Médio e Superior onde os alunos estão mais preparados para usarem ferramentas formais e abstratas. Como outra sugestão, o autor propõe cinco princípios para favorecer o entendimento (Nickerson *apud* Teodoro, 1998): 1) começar onde o estudante está; 2) promover o

processamento ativo e a descoberta; 3) usar modelos matemáticos e representações apropriadas; 4) usar simulações e 5) fornecer um ambiente de suporte.

Veit e Teodoro (2002) discutem a importância da modelagem no processo de ensino/aprendizagem em Física conectada com os novos parâmetros curriculares nacionais para o Ensino Médio (PCNEM). Nesse artigo são apresentadas algumas características essenciais do *Modellus*, sob o ponto de vista do ensino, enfatizando o processo de aprendizagem, a exploração e a criação de múltiplas representações de fenômenos físicos e de objetos matemáticos. Dentro deste contexto, o *Modellus* destaca-se como uma ferramenta que permite:

- a construção e a exploração de múltiplas representações de modelos;
- a análise da qualidade dos modelos;
- o reforço do pensamento visual, sem memorização dos aspectos de representação formal, através de equações e outros processos formais;
- a abordagem de forma integrada dos fenômenos naturais, ou simplesmente representações formais;
- o trabalho individual e em classe, em que a discussão, a conjectura e o teste de idéias são atividades dominantes.

Quanto à modelagem, os autores partem do pressuposto de que a sua introdução no ensino de Física tende a desmitificar a imagem da Física como uma disciplina de memorização de fórmulas complicadas, pois a modelagem facilita a construção de relações e significados, favorecendo uma aprendizagem construtivista e permitindo também (Webb e Hassen *apud* Veit e Teodoro 2002):

- elevar o nível do processo cognitivo, exigindo que os estudantes pensem em um nível mais elevado, generalizando conceitos e relações;

- exigir que os estudantes definam suas idéias mais precisamente;
- propiciar oportunidades para que os estudantes testem suas próprias idéias, detectem e corrijam inconsistências.

Teodoro³ descreve duas aplicações do *Modellus*, uma com estudantes do 11º grau do ensino secundário em Lisboa, e outra com alunos da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova, Lisboa. No primeiro estudo, 12 alunos do ensino secundário participaram de um curso de verão, usando o *Modellus* com uma abordagem exploratória, fazendo modelos a partir de dados reais ou a partir de pensamentos teóricos sobre ciência. No segundo estudo, 10 estudantes do segundo ano do curso de Bacharelado em Ciência (futuros professores de Biologia e Geologia) usaram o *Modellus*, também com atividades exploratórias durante três dias.

Para a primeira investigação, Teodoro (Op. cit.) formulou as seguintes questões de pesquisa:

- Podem os estudantes criar seus próprios modelos e animações?
- Quais as vantagens e desvantagens para os estudantes que podemos identificar quando utilizamos o *Modellus* para o aprendizado de modelos matemáticos simples descrevendo o movimento de objetos?

Através de observações e da aplicação de um questionário envolvendo perguntas baseadas nas questões de pesquisa, Teodoro sugere que os estudantes do ensino secundário podem começar a utilizar o *Modellus*, depois de uma breve introdução sobre seu uso, se eles tiverem conhecimento suficiente de Física e Matemática necessário para a criação dos modelos. Outro resultado importante, foi o

³ TEODORO, V. D. **Modellus**: learning physics with mathematical modelling. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal. Tese de doutorado a ser defendida em 2002.

de que os estudantes reconhecem que o *Modellus* pode ser uma ferramenta importante para auxiliar o pensamento e a reflexão sobre como a Física usa modelos matemáticos para descrever os movimentos. Nenhuma desvantagem significativa foi levantada.

Em relação ao estudo feito com os estudantes universitários, Teodoro formulou as seguintes questões de pesquisa:

- Podem os estudantes criar seus próprios modelos e animações?
- Os estudantes concordam que o *Modellus* pode promover uma abordagem mais integrada entre a Física e a Matemática?
- Os estudantes concordam que o *Modellus* pode ajudá-los a trabalhar mais concretamente com objetos formais?
- Quais as diferenças que os estudantes identificam quando resolvem problemas com e sem o auxílio do *Modellus*?

Mediante observações feitas durante a execução das atividades e a partir dos resultados obtidos por um questionário aplicado ao final dos três dias de curso, Teodoro obteve indícios que levam a crer que estudantes universitários com preparação em Física podem facilmente utilizar o *Modellus* para criar seus próprios modelos com funções lineares, quadráticas e paramétricas. Os estudantes concordaram que o *Modellus* pode promover uma abordagem mais integrada entre a Física e a Matemática que eles tiveram na escola. Outro fator reconhecido pelos alunos foi o da importância do conhecimento prévio para obter vantagens em seu uso. Estas vantagens estão relacionadas às capacidades de visualização que podem ajudar melhorando o raciocínio e a capacidade de abstração. Os estudantes também concordam que o *Modellus* ajudou-os a trabalhar mais concretamente com objetos formais, reduzindo a abstração dos modelos matemáticos e da necessidade de um trabalho mais extensivo para superar a má preparação que eles tiveram no ensino secundário.

2.2 INTERPRETAÇÃO DE GRÁFICOS DA CINEMÁTICA

No estudo do tema interpretação de gráficos da Cinemática, McDermott, Rosenquist e van Zee (1987) analisaram as narrativas feitas pelos estudantes durante o processo de elaboração e análise dos gráficos e identificaram 10 das principais dificuldades apresentadas por esses alunos ao trabalharem com gráficos cinemáticos. Cinco destas dificuldades estão em conectar os gráficos aos conceitos físicos: a) discriminar entre inclinação e altura; b) interpretar mudanças na altura e mudanças na inclinação; c) relacionar um tipo de gráfico a outro; d) relacionar a narração de um movimento com um gráfico que o descreve; e) interpretar a área sob o gráfico. As outras cinco dificuldades encontradas estão em conectar gráficos ao mundo real: a) representar movimento contínuo por uma linha contínua; b) separar a forma de um gráfico da trajetória do movimento; c) representar velocidade negativa; d) representar aceleração constante; e) fazer distinção entre diferentes tipos de gráficos do movimento.

Ainda dentro do mesmo tópico de estudo, Murphy (1999) faz uma revisão da literatura e identifica a visão do gráfico como uma fotografia (GCF) e a confusão entre altura e inclinação no gráfico (CAI), como as duas principais dificuldades dos alunos ao interpretarem gráficos da Cinemática. Neste mesmo trabalho a autora argumenta que a dificuldade GCF pode ser pensada de uma outra forma, visto que em seus estudos ela chegou à conclusão de que os estudantes não imaginam o gráfico como uma fotografia do movimento, mas sim como um mapa onde o eixo vertical representaria o eixo Norte-Sul, e o eixo horizontal corresponderia ao eixo Leste-Oeste. Desse ponto de vista, os estudantes apresentam a dificuldade GCF por terem mais experiências com mapas do que com gráficos cinemáticos e estariam incorretamente aplicando um esquema de interpretação de mapas para estes gráficos.

Quanto à confusão entre altura e inclinação em um gráfico, Murphy (Op. cit.) argumenta que esta dificuldade pode estar relacionada não à interpretação do gráfico em si, mas simplesmente à aplicação mecânica da estratégia “mais significa mais alto; mais rápido significa mais inclinado” para todas as questões que se apresentam, sem distinguir se a quantidade em questão é a mesma representada no eixo vertical do gráfico. Em um gráfico de velocidade versus tempo maior velocidade significa maior altura, mas não maior aceleração. Maior mudança na velocidade significa maior inclinação, mas não maior rapidez.

Uma das referências mais significativas para execução do presente estudo foi o trabalho desenvolvido por Beichner (1994) onde é proposto o desenvolvimento e a análise de um teste para averiguar a interpretação de gráficos da Cinemática por parte dos estudantes, e o levantamento de suas principais dificuldades. Ele argumenta que os professores de Física utilizam gráficos como uma segunda linguagem de comunicação, admitindo que seus estudantes possam obter uma descrição detalhada do sistema físico analisado, através deste tipo de representação. Infelizmente, seu trabalho indica que os estudantes não compartilham do mesmo vocabulário que os professores.

Seguindo o fluxograma ilustrado na figura 2, Beichner elaborou um teste chamado TUG-K (Teste do Entendimento de Gráficos da Cinemática), preocupando-se exclusivamente com a interpretação dos gráficos, não tendo como meta abordar as dificuldades na criação dos mesmos. As primeiras versões do TUG-K foram aplicadas a 134 estudantes universitários que já haviam tido aulas sobre Cinemática. Os resultados destes testes foram utilizados para verificar a validade do instrumento de medida, ou seja, se o teste estava realmente medindo o que se supunha que ele estivesse. Após algumas correções, uma versão final do teste foi aplicada a 524 estudantes de ensino médio e universitário (Universidade do Estado da Carolina do Norte - EUA).

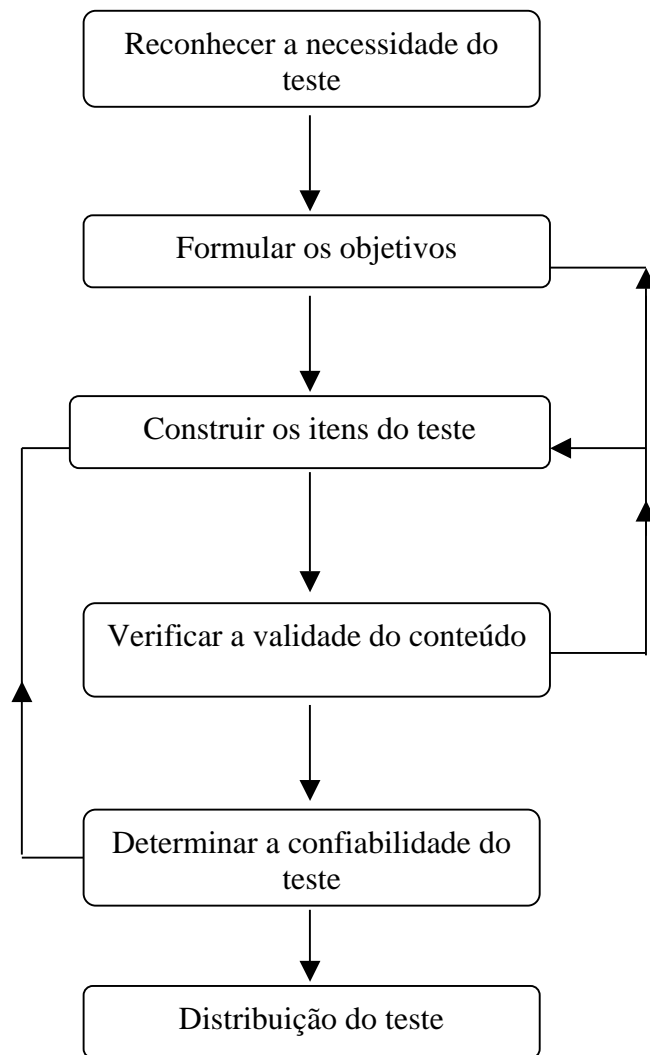


FIGURA 2 - Fluxograma explicitando os passos necessários para o desenvolvimento de um teste (Beichner, 1994).

Todos os estudantes que participaram do teste já haviam sido expostos à Cinemática. A tabela 1 descreve quais foram os objetivos abordados pelo teste e a tabela 2 refere-se às dificuldades que foram mapeadas através da utilização do teste.

Agrello e Garg (1999) traduziram o teste TUG-K para o português e o aplicaram a 228 estudantes oriundos do Ensino Médio recém ingressos na Universidade de Brasília (UnB) em diferentes cursos (na área de Ciências Exatas), mas

matriculados na disciplina de Física I. Todos os estudantes testados já tinham tido contato com Cinemática no Ensino Médio.

TABELA 1 - Objetivos do teste TUG-K de compreensão de gráficos da Cinemática.

Dado:	O Estudante deverá:
1) Gráfico de posição versus tempo	Determinar a velocidade
2) Gráfico da velocidade versus tempo	Determinar a aceleração
3) Gráfico da velocidade versus tempo	Determinar o deslocamento
4) Gráfico da aceleração versus tempo	Determinar a variação na velocidade
5) Gráfico da Cinemática	Selecionar outro gráfico correspondente
6) Gráfico da Cinemática	Selecionar a descrição textual adequada
7) Descrição textual do movimento	Selecionar o gráfico correspondente

TABELA 2 - Dificuldades dos estudantes em interpretação de gráficos da Cinemática.

Dificuldades
1) Visão de gráficos como uma fotografia do movimento
2) Confusão entre altura e inclinação
3) Confusão entre variáveis Cinemáticas
4) Erros quanto à determinação de inclinações de linhas que não passam pela origem
5) Desconhecimento do significado das áreas no gráfico abaixo das curvas Cinemáticas
6) Confusão entre área/inclinação/altura

Em um primeiro momento, Agrello e Garg (Op. cit.) comparam seus resultados com aqueles obtidos por Beichner (1994); nesta comparação os estudantes brasileiros da UnB pareciam estar mais bem preparados que os americanos para lidar com gráficos de Cinemática. Apesar disso, verificou-se que os alunos da UnB tinham os mesmos tipos de dificuldades que os alunos americanos. Em seguida, os autores fizeram uma comparação dos resultados obtidos pelos estudantes brasileiros entre si, dividindo-os em grupos segundo o tipo de escola que frequentaram no Ensino Médio, se escola pública ou escola privada. Apesar do índice de acertos dos alunos oriundos de escolas privadas ser maior do que os vindos da escola pública, os resultados não foram estatisticamente diferentes.

Este estudo comparou também o nível de acertos das respostas no teste em relação ao curso escolhido pelos alunos. Segundo os autores este tipo de análise permite melhorar o ensino para os alunos mais despreparados e sugere que o ensino nos cursos tidos como básicos não deve ser ministrado igualmente para todas as áreas de conhecimento, visto que os alunos iniciantes não têm o mesmo nível de formação.

Uma vez realizada a revisão da literatura pertinente a este trabalho, passemos, no capítulo seguinte, à sua fundamentação teórica propriamente dita.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo apresentamos o referencial teórico utilizado na pesquisa, enfocando a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, base para a construção da hipótese de pesquisa, e a teoria da modelagem esquemática de Halloun, que descreve formalmente o processo de modelagem utilizado no tratamento de pesquisa.

3.1 A TEORIA DE APRENDIZAGEM DE DAVID AUSUBEL

A teoria de aprendizagem de David Ausubel (1980) tem como cerne a idéia da *aprendizagem significativa*, definida como um processo onde uma nova informação interage com algum aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Podemos dizer que uma aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação é assimilada através da interação com conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz (Ausubel, 2002). Estes conceitos foram denominados por Ausubel de *subsunçores*. Porém, a aprendizagem significativa não se restringe a influência direta dos subsunçores sobre elementos da nova informação. Devemos considerar também as modificações e o crescimento desses subsunçores devido à interação com o novo material, pois neste processo o subsunçor evolui tornando-se mais inclusivo e aumentando a sua capacidade de se relacionar com novas informações. Isto significa que os subsunçores podem apresentar grandes variações de um indivíduo para outro podendo ser amplos e bem diferenciados ou limitados em quantidade e variedade de elementos, segundo as experiências de aprendizagem de cada pessoa.

Para Ausubel, as informações na mente humana estão dispostas de forma altamente organizada. Estas informações formam uma hierarquia conceitual onde os elementos mais específicos de conhecimento são ligados e assimilados a conceitos

mais gerais e inclusivos. Deste modo, *estrutura cognitiva* significa uma estrutura hierárquica de conceitos, que são representações resultantes de experiências sensoriais do indivíduo e do processamento mental da informação recebida (Moreira, 1999) .

3.1.1 Aprendizagem Mecânica

Ausubel define *aprendizagem mecânica* (ou automática) como aquela em que o indivíduo adquire uma nova informação com pouca ou nenhuma relação com os subsunçores existentes em sua estrutura cognitiva. Este conhecimento é armazenado de forma literal e arbitrária, não se ligando a subsunçores específicos. Apesar deste tipo de aprendizagem contrapor-se à aprendizagem significativa, é importante destacar que Ausubel não apresenta os dois tipos de aprendizagem como antagônicos e sim como em extremos de um contínuo, isto é, existem diferentes níveis de aprendizagem significativa e mecânica.

3.1.2 Subsunçores

Visto a importância dos subsunçores na desejada aprendizagem significativa, se fazem pertinentes as seguintes perguntas: O que fazer quando estes não existem? Como os primeiros subsunçores são formados? Uma possível resposta para estas perguntas é que em uma área do conhecimento totalmente nova para o indivíduo, a aprendizagem será inicialmente mecânica. A aprendizagem significativa não ocorrerá até que alguns elementos de conhecimento, relevantes a novas informações na mesma área, existam na estrutura cognitiva e possam servir de subsunçores ainda que pouco elaborados. Na medida que a aprendizagem começa a ser significativa, os subsunçores vão tornando-se cada vez mais elaborados e o indivíduo capaz de assimilar novas informações.

Moreira (Op. cit.) apresenta outra possível resposta para as perguntas acima, evocando o caso de crianças pequenas, onde os primeiros conceitos são adquiridos em um processo chamado *formação de conceitos*, o qual envolve generalizações de instâncias específicas. Porém, quando as crianças atingem a idade escolar a maioria já possui um conjunto adequado de conceitos que permite a ocorrência da aprendizagem significativa. A partir daí, apenas ocasionalmente haverá ainda a formação de conceitos; a maioria dos novos conceitos serão adquiridos através de *assimilação, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa*.

Para Ausubel, do ponto de vista instrucional, é extremamente recomendável o uso de *organizadores prévios* como veículos facilitadores da aprendizagem significativa quando não existem na estrutura cognitiva os subsunçores adequados. Os organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados em nível mais alto de abstração, inclusividade e generalidade antes do material a ser aprendido em si. O aspecto mais significativo do processo de assimilação de conceitos é o relacionamento, de forma substantiva e não-arbitrária, a idéias relevantes estabelecidas na estrutura cognitiva do aprendiz com o conteúdo potencialmente significativo implícito nas novas informações. Os organizadores prévios funcionam como “pontes cognitivas” para o processo de aprendizagem significativa.

3.1.3 Condições para a Aprendizagem Significativa

Ausubel propõe duas condições básicas para que ocorra a aprendizagem significativa:

- As informações a serem assimiladas devem ser potencialmente significativas para o aprendiz, ou seja, ele tem de ter em sua estrutura cognitiva conceitos relacionáveis, de forma substantiva e não-arbitrária, vinculados diretamente

com o conhecimento a ser aprendido, o qual, por sua vez, deve ter significado lógico.

- O aprendiz deve manifestar uma disposição para relacionar o novo material, de forma substantiva e não-arbitrária, à sua estrutura cognitiva. Em outras palavras, podemos dizer que mesmo que uma informação seja potencialmente significativa, se o aprendiz não se dispuser a aprendê-la, a aprendizagem só poderá ser mecânica. Da mesma forma, se o material não é potencialmente significativo, tanto o processo como o resultado não serão significativos.

No presente trabalho estas condições serviram como base para a elaboração da hipótese de pesquisa apresentada no capítulo 4, guiando-nos também na interpretação parcial dos resultados obtidos.

3.2 MODELAGEM ESQUEMÁTICA

Modelagem esquemática é uma teoria de desenvolvimento epistemológico baseada na pesquisa cognitiva. Nela admite-se que modelos são os componentes majoritários do conhecimento de qualquer pessoa, e que modelagem é um processo cognitivo para construir e empregar o conhecimento no mundo real. Halloun (1996) estabelece três dos mais fundamentais princípios para a modelagem esquemática:

- 1) “Nós construímos modelos mentais que representam aspectos significantes de nosso mundo físico e social, e manipulamos elementos destes modelos quando pensamos, planejamos e tentamos explicar os eventos deste mundo” (Bower e Morrow *apud* Op. cit.).
- 2) “Nossa visão de mundo tem dependência causal da forma como o mundo está e de como nós estamos” (Johnson-Laird *apud* Halloun, 1996).

- 3) *Modelos mentais* estão dentro das mentes das pessoas. Eles são *tácitos*, e não podem ser explorados diretamente. Entretanto, eles podem ser explorados via *modelos conceituais* que são os modelos utilizados por uma pessoa para comunicar-se com outras verbalmente, simbolicamente ou de forma pictórica (e/ou via *modelos físicos*, definidos como artefatos materiais). Modelos conceituais utilizados na nossa comunicação no dia-a-dia são freqüentemente subjetivos, idiossincráticos e não coerentemente estruturados. Com instrução apropriada estes modelos podem tornar-se relativamente objetivos e coerentemente estruturados (Gentner e Stevens; Giere; Hestenes; Nersessian; Redish; *apud* Halloun, 1996).

Halloun (Op. cit.) argumenta que quando os cientistas se propõem a estudar um sistema físico, eles concentram-se em um número limitado de características deste sistema, construindo a partir disso um *modelo conceitual*³ (um modelo matemático, por exemplo) e/ou um *modelo físico* (como um artefato material). Eles analisam o modelo construído e fazem inferências sobre o sistema físico que este representa. O processo inteiro é habitualmente guiado por alguma teoria física.

Ainda segundo Halloun, modelos científicos são *esquemáticos* no sentido de que como outros esquemas científicos (conceitos, leis e outras estruturas compartilhadas pelos cientistas) eles: (a) utilizam um número limitado de características básicas quase independentes das idiossincrasias individuais dos cientistas, e (b) são desenvolvidos e aplicados seguindo esquemas genéricos de modelagem. O conhecimento necessário para que alguém compreenda realmente um modelo conceitual científico, pode ser caracterizado em quatro dimensões definidas por Halloun como:

³ Estes modelos são também chamados por Halloun de modelos conceituais científicos, distinguindo-os dos modelos comumente usados pelas pessoas.

a) Domínio

O domínio de um modelo consiste em um conjunto de sistemas físicos (referências do modelo) que compartilham uma estrutura comum e/ou características comportamentais que o modelo pode ajudar a *descrever, explicar e/ou prever* em alguns aspectos e com um certo grau de precisão. O modelo pode, também, permitir o controle das referências usadas e o delineamento de novas a partir de seus resultados.

b) Composição

Durante a modelagem de uma situação física os cientistas tendem a agrupar os objetos envolvidos dentro de sistemas finitos. Cada sistema pode incluir uma ou mais entidades que exibem propriedades específicas de interesse e que interagem umas com as outras. Entidades físicas dentro e fora do sistema podem ser representadas no modelo correspondente por *entidades conceituais* que pertencem ao *conteúdo* e ao *ambiente* do modelo respectivamente, sendo caracterizadas por *descritores* apropriados. Conteúdo e ambiente e seus respectivos objetos e agentes, formam a *composição* de um modelo. Um descritor é uma propriedade conceitual (uma variável em um modelo matemático, por exemplo) que representa uma propriedade específica das entidades dentro ou fora do modelo. Podemos ter os seguintes tipos de descritores:

- 1) *Descritor de objeto*: dividido em duas categorias; *descritor intrínseco* (parâmetro), representando uma propriedade física que é admitida como constante (massa de um corpo, por exemplo); ou *descritor de estado* (variável), representando uma propriedade física que pode variar com o tempo (posição e energia cinética de um corpo, por exemplo).

- 2) *Descritor de interação*: definido como uma característica mútua compartilhada por um objeto e um agente em um modelo. Ele representa a interação física entre uma entidade dentro das referências do modelo e outra fora (força e energia potencial, por exemplo).

Halloun faz questão de ressaltar que um modelo não é isomórfico em relação às suas referências, ou seja, nem todas as entidades de um sistema físico precisam estar presentes no modelo que o representa. Entretanto, cada objeto em um modelo deve corresponder a no mínimo uma entidade dentro da sua referência, e cada agente, a no mínimo uma entidade fora. Similarmente, cada descritor deve corresponder a uma propriedade física específica do seu sistema físico de referência.

c) Estrutura

A estrutura de um modelo é constituída pelas relações existentes entre os descritores que representam propriedades físicas da referência do modelo. Três tipos de estruturas são englobadas pelas relações: *geométrica*, relacionada com a configuração espacial dos objetos e agentes; *interativa*, vinculada a relacionamentos atemporais expressos em leis de interação entre um descritor de objeto e um descritor de interação (Lei de Newton da gravitação universal, por exemplo) e *comportamental*, referindo-se aos relacionamentos espaço-temporais que descrevem ou explicam o comportamento de objetos individuais do conteúdo de um modelo em determinadas condições específicas. Estes relacionamentos são expressos em dois tipos de leis: *leis de estado* e *leis causais*.

As leis de estado expressam o relacionamento entre as propriedades de um determinado objeto e também descrevem a mudança de estado do mesmo (e.g. equações de movimento). Leis causais expressam o relacionamento entre uma

propriedade de interação e uma propriedade de estado de um objeto e explicam a sua mudança de estado (leis de Newton da Dinâmica e as leis de conservação, por exemplo).

d) Organização

Modelos pertencentes à mesma categoria podem ser classificados em grupos e subgrupos (ou famílias) de modelos seguindo critérios convenientes. Cada grupo inclui uma família especial de modelos chamados *modelos básicos*. Um modelo básico quase sempre é um modelo simples, mas abrangente, que descreve e explica um fenômeno físico elementar. Estes modelos são partes indispensáveis para um aprendizado significativo de conceitos individuais e princípios de uma dada teoria científica, bem como para o desenvolvimento de modelos mais complexos. Além do critério de classificação, cada teoria contém *leis de organização e regras* que especificam: como os modelos dentro de uma dada família se relacionam entre si e com modelos de outras famílias; e, conseqüentemente, como combinar diferentes modelos para o estudo de situações físicas que estão fora do escopo do domínio de compreensão dos modelos disponíveis.

3.2.1 O Processo de Modelagem Esquemática

A figura 3 mostra um processo genérico de modelagem esquemática que pode ser sistematicamente aplicado no contexto de uma teoria conveniente para a construção de novos modelos, refinando-os e/ou empregando-os em situações específicas (experimentos de laboratório, problemas do tipo “livro-texto”, etc. (Hestenes *apud* Halloun, 1996).

O primeiro passo no processo de modelagem esquemática consiste em identificar e descrever a composição de cada sistema físico em questão e o respectivo fenômeno. Em paralelo a isto devemos identificar, também, o *propósito* (conjunto de objetivos em um livro-texto, por exemplo) e a *validade* das saídas esperadas (incluindo a precisão dos resultados). Seguindo estes passos, importantes para a escolha da teoria apropriada no contexto que a modelagem deve seguir, selecionamos um modelo apropriado e então o construímos. O modelo é então processado e analisado, enquanto é continuamente validado. Seguindo esta análise, conclusões apropriadas são inferidas sobre o sistema em questão e as saídas são *justificadas* em função do propósito da modelagem e da validade requerida (Halloun; Hestenes; *apud Op. cit.*).

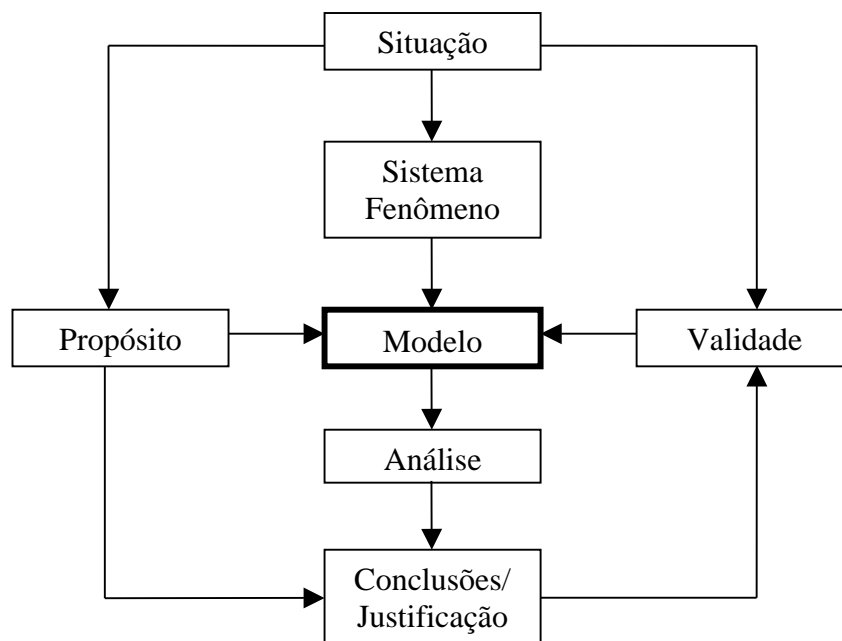


FIGURA 3 - Representação esquemática do processo de modelagem (Hestenes *apud* Halloun, 1996).

3.2.2 Modelagem Esquemática para a Resolução de Problemas de Paradigma

Halloun denomina como problemas de paradigma os problemas que abrangem características especiais evitando a aplicação direta de fórmulas numéricas e incluindo

questões abertas que permitem que os estudantes reflitam sobre suas próprias concepções sobre os sistemas físicos.

A resolução desse tipo de problema ocorre em cinco estágios: seleção, construção, validação, análise e expansão. O processo é não-hierárquico. Os três estágios do meio sobrepõem-se, e alguns desses passos podem ser conduzidos ao mesmo tempo. Em cada estágio, o modelador pergunta a si mesmo questões específicas e tenta respondê-las sistematicamente. Cada um dos cinco estágios será discutido abaixo.

3.2.2.1 Seleção do modelo

A solução de problemas de um livro-texto, freqüentemente envolve modelos básicos e/ou modelos emergentes que são combinações destes modelos básicos, visto que o processo de modelagem sempre começa com a seleção de modelos apropriados de um repertório de modelos familiares em uma teoria específica. A seleção é guiada pelo domínio de cada modelo e governada pelo propósito da modelagem e da validade requerida.

3.2.2.2 Construção do modelo

Neste estágio, o modelador procura construir modelos matemáticos que ajudam a resolver o problema. Eles constroem, ou reproduzem, a composição e a estrutura de cada modelo selecionado.

3.2.2.3 Validação do modelo

Este estágio pode ser concomitante à construção do modelo, considerando essencialmente a consistência interna do modelo, com perguntas do tipo: quão bem cada representação matemática corresponde ao seu equivalente no sistema físico de referência? As condições de contorno são satisfeitas?

3.2.2.4 Análise do modelo

Uma vez que o modelo tenha sido validado, a análise pode ser feita no sentido de verificar se todos os propósitos estão sendo contemplados com o modelo que está sendo construído. A análise do modelo na resolução de problemas do tipo livro-texto consiste primeiramente no processamento do modelo matemático, obtendo as respostas para as questões levantadas no problema e a interpretação e justificativa para as respostas.

3.2.2.5 Expansão do modelo

Uma vez que o modelo foi analisado e completamente validado, algumas implicações podem ser inferidas em relação ao propósito original, bem como a outros propósitos de validação. Isto ajuda ao modelador a desenvolver suas habilidades de transferência. A expansão de modelos inclui:

- uso de um dado modelo para descrever, explicar e/ou prever novas situações físicas pertencentes ao sistema em estudo;
- inferir implicações para outros sistemas físicos de referência do modelo;
- extrapolar o modelo para a construção de outros novos modelos.

A expansão de modelos também inclui atividades reflexivas, onde o modelador examina e aprimora seu conhecimento em termos de sua experiência de modelagem.

No presente trabalho estamos interessados nos modelos físicos vistos como descrições simplificadas e idealizadas de sistemas ou fenômenos físicos, aceitos pela comunidade científica, que envolvem elementos como representações (externas), proposições semânticas e modelos matemáticos subjacentes; estes, passamos a denominar simplesmente de modelos.

Entendemos modelagem computacional aplicada no ensino de Física como o processo de modelagem proposto por Halloun (Op. cit.) acrescido do uso do computador como uma ferramenta facilitadora na execução dos estágios não-hierárquicos de construção, validação, análise e expansão do modelo. Cabe aqui ressaltar que no presente trabalho consideramos um modelo físico não somente como um artefato material (definição de Halloun), mas de forma mais ampla conforme a definição de Greca e Moreira (2001): “Quando os enunciados da teoria (teoria física) estão de acordo com um fenômeno ou com um sistema físico idealizado e simplificado, a descrição resultante é um modelo físico”.

No próximo capítulo apresentaremos a metodologia de pesquisa utilizada, o objeto de estudo e a hipótese de pesquisa que guiaram o experimento.

4 OBJETO DE ESTUDO E METODOLOGIA

Neste capítulo, apresentamos o objeto de estudo e a hipótese de pesquisa que guiaram a realização deste trabalho e, em seguida, descrevemos a metodologia desenvolvida na verificação dessa hipótese.

4.1 OBJETO DE ESTUDO

Este trabalho tem como objeto de estudo *o uso conjunto de atividades de modelagem exploratória e de criação, apresentadas na forma de situações-problema e desenvolvidas com o software Modellus, que foram utilizadas como um complemento instrucional em áreas problemáticas do ensino de Física.*

As situações-problema, referidas anteriormente, dizem respeito a questões formuladas a partir de uma situação física bem definida onde os alunos expressam suas respostas do modo tradicional (lápiz e papel) e depois confrontam os seus resultados com aqueles obtidos através dos modelos, procurando justificar as eventuais disparidades entre ambos. Muitas vezes essas questões são apresentadas na forma de “desafio”.

Como hipótese de pesquisa admitimos que *o tratamento de pesquisa promoverá a predisposição do aluno para aprender, relacionando as novas informações, de forma substantiva e não-arbitrária, à sua estrutura cognitiva, criando assim condições para uma aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado que resultará em melhor desempenho em teste de conhecimento sobre tal conteúdo.*

4.2 DELINEAMENTO DE PESQUISA

Para testar a hipótese levantada buscamos na literatura uma área problemática do ensino de Física que poderia ser potencialmente melhor tratada com a aplicação de atividades adequadas de modelagem computacional. Conforme visto no capítulo de revisão da literatura, vários autores chamam atenção para as dificuldades existentes na interpretação de gráficos da Cinemática. Por acreditarmos que este conteúdo é uma pedra basilar sobre a qual vários conceitos costumam ser construídos ao longo do curso de Física, escolhemos este como tema para nossa pesquisa.

O estudo, envolvendo estudantes do primeiro semestre do curso de Física da UFRGS, foi desenvolvido segundo um delineamento de pesquisa com grupo de controle não-equivalente devido à impossibilidade de adequação de horários comuns entre todas as turmas para a realização do estudo. Usando a notação de Campbell e Stanley (1963), podemos escrever o delineamento quasi-experimental adotado (“design 10”) conforme a tabela 3.

TABELA 3 - Delineamento da pesquisa.

	Delineamento		
Grupo Experimental	O ₁	X	O ₂
Grupo de Controle	O ₁		O ₂

O₁ = Teste inicial
X = Tratamento (Atividades de modelagem computacional)
O₂ = Teste final

FONTE: Adaptado de Campbell e Stanley (1963).

4.3 AMOSTRA

O experimento foi realizado no 1º semestre de 2002 envolvendo 57 alunos das nove turmas (A, B, C, D, E, F, G, H e I) do 1º ano do curso de Física matriculados

(total de 115 estudantes) na disciplina Física Geral I. Para atender a compatibilidade de horário, escolhemos apenas as seis primeiras para a seleção dos alunos que vieram a compor, de forma voluntária, o grupo experimental. Os estudantes das turmas G, H e I e aqueles não participantes do grupo experimental que se identificaram durante a realização do teste inicial compuseram o grupo de controle.

O grupo experimental foi formado inicialmente por 31 estudantes, mas somente 26 concluíram o experimento. O grupo de controle contou com um número total de 26 alunos. Cabe aqui ressaltar que todos os alunos envolvidos, desde a validação do instrumento até a sua aplicação, já haviam sido expostos aos conteúdos da Cinemática e que tanto os estudantes que compunham o grupo experimental quanto o de controle freqüentaram normalmente as aulas da disciplina de Física Geral I durante o período de quatro semanas em que o experimento foi realizado. As atividades de modelagem computacional eram, então, complementares.

4.4 ELABORAÇÃO, VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DO TESTE INICIAL

Com o propósito de aplicação de um teste inicial para os grupos de controle e experimental adaptamos o Teste do Entendimento de Gráficos da Cinemática (TUG-K), consistindo de 21 questões de escolha simples com cinco alternativas cada, proposto por Beichner (1994), para a língua portuguesa. Não adotamos a tradução para o português feita por Agrello e Garg (1999) porque não há qualquer referência à validação do teste traduzido e, também, porque em algumas questões o enunciado não é suficientemente rigoroso, mesmo na versão original.

O teste inicial foi elaborado com o objetivo de identificar as dificuldades apresentadas na literatura (indicadas na tabela 2) e servir como uma covariável para a análise dos resultados obtidos no teste final.

Para fins de validação, inicialmente submetemos o teste ao exame de seis especialistas no conteúdo, todos doutores em Física do Instituto de Física da UFRGS. A incorporação das modificações sugeridas resultou no teste apresentado no Apêndice A, que foi aplicado a uma turma de 37 estudantes do 1º ano do curso de Engenharia Elétrica (UFRGS) no 2º semestre letivo de 2001, com a intenção de obtermos o coeficiente de fidedignidade do instrumento (alfa de Cronbach). A aplicação do teste durou aproximadamente uma hora.

Concluída a etapa de validação, aplicamos o teste a 88 alunos do 1º semestre do curso de Física⁴ em sua primeira semana de aula. Antes da aplicação do teste, em todas as turmas, foi feita uma exposição sucinta sobre os objetivos de nossa pesquisa. Nas turmas A, B, C, D, E e F esta exposição incluiu a metodologia que empregaríamos, em especial, quanto ao grupo experimental e quanto à possibilidade de que os estudantes se inscrevessem voluntariamente no grupo experimental. Os voluntários comunicaram seu interesse em participar do grupo experimental ao final do teste. Aos alunos das demais turmas e para aqueles que não ingressaram no grupo experimental a identificação foi facultativa, somente tornando-se necessária caso eles quisessem tomar conhecimento do seu escore geral no teste. As folhas com as questões do teste e as grades de resposta foram recolhidas ao final da aplicação do mesmo.

4.5 TRATAMENTO

Elaboramos uma série de atividades de modelagem⁵ utilizando o *software Modellus* para auxiliar os alunos na superação de eventuais dificuldades enfrentadas

⁴ O teste foi validado para estudantes de Física Geral da Engenharia e foi usado com estudantes de Física Geral da Física supondo que as populações são semelhantes. Tal suposição é necessária porque a validade de um instrumento de medida é sempre relativa à situação na qual o estudo de validade foi conduzido, ou seja, ao grupo respondente (Moreira e Silveira, 1993, p.83).

⁵ Estas atividades podem ser encontradas em Araujo e Veit (2002a) e Araujo e Veit (2002b).

por eles na interpretação de gráficos, apresentadas na tabela 2. Estas atividades podem ser classificadas em duas categorias: *Atividades exploratórias* e *Atividades de criação*.

As atividades exploratórias caracterizam-se pela observação, análise e interação do sujeito com modelos já construídos, no intuito de permitir ao aluno a percepção e a compreensão das eventuais relações existentes entre a matemática, subjacente ao modelo, e o fenômeno físico em questão. Neste tipo de atividade, várias questões são apresentadas em forma de perguntas dirigidas e “desafios” para os quais o aluno deve interagir com o modelo para chegar às respostas. Esta interação é feita através de modificações nos valores iniciais e parâmetros do modelo podendo ser utilizados recursos como “barras de rolagem” e “botões” para facilitar as modificações dos mesmos.

As atividades de criação, também conhecidas como atividades expressivas, podem ser caracterizadas pelo processo de construção do modelo desde sua estrutura matemática até a análise dos resultados gerados por ele. Neste tipo de atividade são apresentadas questões que visam à elaboração de modelos a partir de determinados fenômenos de interesse onde podem ser fornecidas tanto informações qualitativas quanto quantitativas do sistema. O aluno pode interagir totalmente com o seu modelo, podendo reconstruí-lo tantas vezes quanto lhe pareça necessário para a produção de resultados que lhe sejam satisfatórios. Cabe aqui ressaltar que em ambos os tipos de atividades a interação entre elas e o aluno foi mediada pelo professor/pesquisador, tanto em termos de auxílio técnico para a operação do *software*, como também no esclarecimento de eventuais dúvidas sobre a Física e a Matemática envolvidas no desenvolvimento de seus modelos.

Como já foi destacado, um dos princípios norteadores na elaboração das atividades foi o de que estas teriam um caráter complementar às aulas tradicionais, e

não a finalidade de substituí-las. Para a construção deste material auxiliar, admitimos que a testagem da hipótese poderia ser feita através de uma interação curta, mas efetiva, com o estudante. O tratamento se constituiu em quatro encontros de 2h15min em um laboratório de computação onde os estudantes trabalhando em duplas ou individualmente⁶ (conforme sua escolha) foram submetidos a um conjunto de atividades⁷ de modelagem, que visavam permitir aos alunos a superação de suas dificuldades, referidas anteriormente na tabela 2, e o alcance dos objetivos enumerados na tabela 1.

Os alunos pertencentes ao grupo experimental (31 estudantes) foram divididos em três turmas (T₁, T₂ e T₃) para a aplicação do tratamento, segundo a disponibilidade de horário. Vinte e seis estudantes participaram de todo o experimento, sendo sua distribuição nas turmas T1, T2 e T3 de sete, seis e treze estudantes, respectivamente.

Após a realização do último encontro foi solicitado aos alunos do grupo experimental que entregassem por escrito, e sem identificação, um depoimento sobre o tratamento incluindo possíveis críticas, comentários e sugestões. Concomitantemente a isso, realizamos entrevistas semi-estruturadas⁸ com dois alunos voluntários de cada turma T1, T2 e T3, visando ampliar o estudo sobre a eventual “disposição para aprender” proporcionada pelas atividades de modelagem computacional realizadas com a ferramenta *Modellus*.

⁶ Mesmo os alunos que optaram por trabalhar individualmente com o computador interagiram com os seus colegas adjacentes.

⁷ Os enunciados destas atividades encontram-se no Apêndice C.

⁸ Ver Apêndice D.

4.6 ELABORAÇÃO, VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DO TESTE FINAL

Para avaliar a eficácia do tratamento é necessário medir o desempenho dos alunos do grupo experimental após o tratamento e compará-lo com o desempenho obtido pelos integrantes do grupo de controle. Para isto elaboramos um teste final a partir do teste inicial onde houve um reordenamento das questões desse teste e quatro questões adicionais foram introduzidas, totalizando 25 questões de escolha simples com cinco alternativas cada. Essas questões adicionais foram elaboradas tendo como base os problemas propostos por McDermott, Rosenquist e van Zee (1987) e seguindo os mesmos objetivos descritos na tabela 1. As questões extras também foram submetidas aos mesmos especialistas que avaliaram o teste inicial, ou seja, seis doutores do Instituto de Física da UFRGS. O teste final encontra-se no Apêndice B.

O teste foi aplicado a uma turma de 35 estudantes da disciplina de Física Geral I do curso de Engenharia Civil – UFRGS, com a intenção de obtermos o coeficiente de fidedignidade do instrumento (alfa de Cronbach). A aplicação do teste durou aproximadamente uma hora.

Após a validação do instrumento, ele foi aplicado a 94 alunos pertencentes às nove turmas de Física Geral I do curso de Física no 1º semestre letivo de 2002. Foi solicitado aos alunos que todos aqueles que se identificaram no teste inicial se identificassem no teste final também. Além disso, foi facultada a identificação para os que quisessem saber sua pontuação no teste final. O tempo de execução do teste foi de aproximadamente 1h30min.

Apresentado o objeto de estudo, a hipótese de pesquisa e a metodologia utilizada, passemos no próximo capítulo para os resultados obtidos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentamos os resultados obtidos na investigação. Para a análise dos dados foi utilizado o pacote estatístico *SPSS for Windows – Release 11.0*.

5.1 ANÁLISE DE FIDEDIGNIDADE DOS TESTES INICIAL E FINAL

Conforme visto anteriormente, aplicamos os testes inicial e final a duas turmas piloto com o propósito de avaliar a fidedignidade dos instrumentos antes de aplicá-los aos grupos de controle e experimental. A partir dos resultados realizamos uma Análise de Consistência Interna (ACI) dos testes. Segundo Cronbach (1967, apud. Moreira e Silveira, 1993) podemos decompor a variância do escore total em uma parcela atribuída ao que há de comum entre os escores parciais (escores das questões do teste) e uma outra parte ao erro da medida. A estimativa desta parcela fidedigna comum aos itens do teste pode ser quantificada pelo coeficiente alfa de Cronbach. Quando se deseja utilizar os escores gerados pelo instrumento para comparar grupos em médias, podemos tolerar coeficientes da ordem de 0,7 (Moreira e Silveira, 1993, p.83). Nas tabelas 4 e 5 são mostrados de forma resumida os resultados da ACI para os dois testes.

TABELA 4 - Síntese da Análise de Consistência Interna para os testes inicial e final aplicados às turmas piloto.

Teste	N	Média do escore Total	Desvio padrão do Escore total	Número de Itens	Coefficiente Alfa
Inicial	37	14,60	4,13	21	0,81
Final	35	16,89	4,89	25	0,84

TABELA 5 - Síntese da Análise de Consistência Interna para os testes inicial e final aplicados às turmas do curso de Física.

Teste	N	Média do escore total	Desvio padrão do Escore total	Número de Itens	Coefficiente Alfa	Coefficiente de correlação inicial-final
Inicial	52	12,25	4,63	21	0,83	0,64
Final	52	18,00	5,36	25	0,88	

Fez parte também da ACI o cálculo do coeficiente de correlação do escore em cada questão com o escore total e o coeficiente alfa do escore total caso o item fosse removido do teste. Na tabela 6 podemos observar que a eliminação de qualquer item não aumentaria significativamente os coeficientes alfa dos testes.

5.2 COMPARAÇÃO ENTRE O GRUPO EXPERIMENTAL E O DE CONTROLE

Os resultados obtidos na aplicação dos testes são explicitados nas tabelas 7 e 8 mostrando o número de estudantes que optaram pelas diferentes alternativas nos testes inicial e final. Os objetivos que fundamentaram a construção dos testes (ver tabela 1) aparecem relacionados com os itens que compõem os mesmos.

Conforme mencionado anteriormente, o teste final foi elaborado a partir do reordenamento das questões do teste inicial e do acréscimo de alguns itens extras (questões 22, 23, 24, 25). Para facilitar a comparação entre o desempenho dos grupos, dispomos na tabela 9 os itens do teste inicial e sua correspondente numeração no teste final.

TABELA 6 - Correlação item-total e coeficiente alfa se o item especificado na primeira coluna da tabela for eliminado dos testes inicial e final.

Item	Teste Inicial (21 itens) a = 0,83		Teste Final (25 itens) a = 0,88	
	Correlação item-total	Coef. alfa se o item for eliminado	Correlação item-total	Coef. alfa se o item for eliminado
1	0,35	0,82	0,20	0,88
2	0,05	0,84	0,43	0,87
3	0,51	0,82	0,46	0,87
4	0,53	0,82	0,68	0,86
5	0,22	0,83	0,21	0,88
6	0,54	0,81	0,53	0,87
7	0,59	0,81	0,54	0,87
8	0,43	0,82	0,46	0,87
9	0,27	0,83	0,38	0,87
10	0,35	0,82	0,47	0,87
11	0,56	0,81	0,35	0,87
12	0,21	0,83	0,43	0,87
13	0,40	0,82	0,32	0,86
14	0,34	0,82	0,64	0,87
15	0,60	0,81	0,35	0,87
16	0,35	0,82	0,29	0,88
17	0,57	0,81	0,67	0,87
18	0,11	0,84	0,44	0,87
19	0,36	0,83	0,57	0,87
20	0,20	0,83	0,39	0,87
21	0,61	0,81	0,42	0,87
22	-	-	0,50	0,87
23	-	-	0,37	0,87
24	-	-	0,60	0,87
25	-	-	0,31	0,88

TABELA 7 - Discriminação das escolhas realizadas pelos alunos ao responderem o teste inicial. Os escores das alternativas corretas estão em negrito.

Teste Inicial		Escolhas do Grupo Experimental (N=26)							Escolhas do Grupo de Controle (N=26)						
Item	Objetivo	A	B	C	D	E	branco	Perc. acertos	A	B	C	D	E	branco	Perc. Acertos
1	4	4	5	0	5	11	1	19%	3	12	2	4	5	0	46%
2	2	1	2	4	0	19	0	73%	0	2	1	0	23	0	88%
3	6	4	0	2	18	2	0	69%	3	0	2	21	0	0	81%
4	3	0	4	3	5	14	0	19%	0	0	4	14	8	0	54%
5	1	0	0	21	4	1	0	81%	0	1	23	2	0	0	88%
6	2	8	13	1	1	3	0	50%	9	12	1	3	1	0	46%
7	2	9	6	2	6	1	2	35%	15	8	0	1	2	0	58%
8	6	0	2	5	17	2	0	65%	0	2	1	22	1	0	85%
9	7	2	6	2	1	15	0	23%	3	4	7	0	12	0	15%
10	4	7	2	16	1	0	0	27%	11	2	12	0	1	0	42%
11	5	5	3	1	16	1	0	62%	2	7	0	16	1	0	62%
12	7	2	22	1	0	1	0	85%	2	21	2	0	1	0	81%
13	1	6	3	4	9	2	2	35%	12	1	0	12	0	1	46%
14	5	2	19	1	2	1	1	73%	2	19	2	3	0	0	73%
15	5	8	3	6	2	7	0	31%	17	3	1	3	2	0	65%
16	4	2	3	7	7	7	0	27%	0	6	8	10	2	0	38%
17	1	9	9	1	2	4	1	35%	13	8	2	1	1	1	50%
18	3	2	14	8	0	1	1	54%	0	18	7	0	1	0	69%
19	7	5	1	13	4	2	1	50%	2	1	22	1	0	0	85%
20	3	3	1	2	2	18	0	69%	0	0	0	0	26	0	100%
21	6	13	13	0	0	0	0	50%	21	5	0	0	0	0	81%

NOTA: a numeração dos objetivos é a mesma utilizada na tabela 1, ou seja:

- 1) Dado o gráfico posição versus tempo o estudante deve ser capaz de determinar a velocidade.
- 2) Dado o gráfico da velocidade versus tempo o aluno deve ser capaz de determinar a aceleração.
- 3) Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deve ser capaz de determinar o deslocamento.
- 4) Dado gráfico da aceleração versus tempo o aluno deve ser capaz de determinar a variação na velocidade.
- 5) Dado um gráfico cinemático o estudante deve ser capaz de selecionar outro gráfico correspondente.
- 6) Dado um gráfico cinemático o aluno deve ser capaz de selecionar a descrição textual adequada.
- 7) A partir da descrição textual do movimento o estudante deve ser capaz de selecionar o gráfico correspondente.

TABELA 8 - Discriminação das escolhas realizadas pelos alunos ao responderem o teste final. Os escores das alternativas corretas estão em negrito.

Teste Final		Escolhas do Grupo Experimental (N=26)							Escolhas do Grupo de Controle (N=26)						
Item	Objetivo	A	B	C	D	E	branco	Perc. acertos	A	B	C	D	E	branco	Perc. acertos
1	1	0	0	25	1	0	0	96%	0	1	21	4	0	0	81%
2	2	2	22	0	0	2	0	85%	9	16	0	0	0	1	62%
3	2	14	7	2	2	1	0	54%	14	6	0	2	3	1	54%
4	4	0	16	0	5	5	0	62%	3	13	0	1	9	0	50%
5	2	0	2	1	0	23	0	89%	0	1	1	0	24	0	92%
6	6	0	0	5	21	0	0	81%	0	2	0	24	0	0	92%
7	7	1	5	1	2	17	0	65%	2	3	2	0	19	0	73%
8	4	15	0	9	0	2	0	58%	12	1	9	2	2	0	46%
9	7	1	23	2	0	0	0	89%	0	24	0	0	2	0	92%
10	5	1	8	0	17	0	0	65%	0	5	0	19	2	0	73%
11	1	12	1	0	13	0	0	50%	6	0	0	19	1	0	73%
12	5	2	21	1	2	0	0	81%	0	24	1	1	0	0	92%
13	4	0	4	6	16	0	0	62%	0	3	6	12	4	1	46%
14	5	17	1	4	2	2	0	65%	20	0	0	4	2	0	77%
15	1	17	7	1	0	1	0	65%	13	11	0	0	1	1	50%
16	3	1	23	2	0	0	0	89%	0	22	4	0	0	0	85%
17	7	6	1	18	1	0	0	69%	1	0	24	0	1	0	92%
18	3	1	0	2	0	23	0	89%	1	0	0	0	25	0	96%
19	6	15	9	0	2	0	0	58%	22	4	0	0	0	0	85%
20	6	0	0	1	22	3	0	85%	0	0	2	24	0	0	92%
21	3	0	2	1	21	2	0	81%	1	0	1	19	5	0	73%
22	1	1	1	2	2	20	0	77%	1	3	0	1	21	0	81%
23	1	1	0	21	2	2	0	81%	4	1	17	3	1	0	65%
24	5	5	2	4	13	1	1	50%	6	0	5	15	0	0	58%
25	4	5	4	12	3	1	1	46%	5	7	8	2	3	1	31%

NOTA: a numeração dos objetivos é a mesma utilizada na tabela 1, ou seja:

- 1) Dado o gráfico posição versus tempo o estudante deve ser capaz de determinar a velocidade.
- 2) Dado o gráfico da velocidade versus tempo o aluno deve ser capaz de determinar a aceleração.
- 3) Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deve ser capaz de determinar o deslocamento.
- 4) Dado gráfico da aceleração versus tempo o aluno deve ser capaz de determinar a variação na velocidade.
- 5) Dado um gráfico cinemático o estudante deve ser capaz de selecionar outro gráfico correspondente.
- 6) Dado um gráfico cinemático o aluno deve ser capaz de selecionar a descrição textual adequada.
- 7) A partir da descrição textual do movimento o estudante deve ser capaz de selecionar o gráfico correspondente.

TABELA 9 – Comparação entre o desempenho dos alunos nas questões comuns aos testes inicial e final.

Objetivos	Numeração teste inicial	Numeração teste final	Grupo Experimental		Grupo de Controle	
			Perc. acertos teste inicial	Perc. acertos teste final	Perc. acertos teste inicial	Perc. acertos teste final
4	1	4	19%	62%	46%	50%
2	2	5	73%	89%	88%	92%
6	3	20	69%	85%	81%	92%
3	4	21	19%	81%	54%	73%
1	5	1	81%	96%	88%	81%
2	6	2	50%	85%	46%	62%
2	7	3	35%	54%	58%	54%
6	8	6	65%	81%	85%	92%
7	9	7	23%	65%	15%	73%
4	10	8	27%	58%	42%	46%
5	11	10	62%	65%	62%	73%
7	12	9	85%	89%	81%	92%
1	13	11	35%	50%	46%	73%
5	14	12	73%	81%	73%	92%
5	15	14	31%	65%	65%	77%
4	16	13	27%	62%	38%	46%
1	17	15	35%	65%	50%	50%
3	18	16	54%	89%	69%	85%
7	19	17	50%	69%	85%	92%
3	20	18	69%	89%	100%	96%
6	21	19	50%	58%	81%	85%

NOTA: a numeração dos objetivos é a mesma utilizada na tabela 1, ou seja:

- 1) Dado o gráfico posição versus tempo o estudante deve ser capaz de determinar a velocidade.
- 2) Dado o gráfico da velocidade versus tempo o aluno deve ser capaz de determinar a aceleração.
- 3) Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deve ser capaz de determinar o deslocamento.
- 4) Dado gráfico da aceleração versus tempo o aluno deve ser capaz de determinar a variação na velocidade.
- 5) Dado um gráfico cinemático o estudante deve ser capaz de selecionar outro gráfico correspondente.
- 6) Dado um gráfico cinemático o aluno deve ser capaz de selecionar a descrição textual adequada.
- 7) A partir da descrição textual do movimento o estudante deve ser capaz de selecionar o gráfico correspondente.

Da tabela 9 podemos observar que, de um modo geral, houve um aumento no escore obtido no teste inicial para o teste final nos dois grupos. Para responder a nossa

questão de pesquisa a partir da análise dos resultados dos testes nos concentramos na comparação entre as *médias* de acertos. Para fazer inferências sobre as causas de eventuais variações estatisticamente significativas entre os escores individuais de cada questão necessitaríamos de mais itens relacionados aos objetivos subjacentes aos testes e de algumas modificações no delineamento de pesquisa. Apesar deste aspecto fugir do escopo do presente trabalho, acreditamos que ele aponte para uma possível perspectiva futura de continuação do mesmo.

Podemos observar na tabela 10 que há uma diferença entre as médias dos dois grupos no teste inicial, o que nos sugere que deva ser feita uma análise da Variância e Covariância (ANOVA/ANCOVA)). Este procedimento corrige (ajusta por regressão) os escores do teste final, equiparando os sujeitos entre si nos escores da prova inicial, ou seja, calcula por regressão quais seriam os escores na prova final caso não houvesse diferenças entre os indivíduos (conseqüentemente não houvesse também diferença em média entre os dois grupos) no teste inicial. Os resultados do uso da ANOVA/ANCOVA são mostrados na tabela 11 que apresenta as médias ajustadas na prova final nos dois grupos, bem como a razão F de Snedecor (através do qual é obtido o nível de significância) para a diferença entre as duas médias e o nível de significância estatística desta diferença (FINN, 1997).

TABELA 10 - Comparação entre o grupo experimental e o grupo de controle nas médias do teste inicial e final.

Grupo	Teste inicial (21 itens)			Teste final (25 itens)			Coeficiente de correlação inicial-final
	Média do escore total	Desvio Padrão	Perc. acertos	Média do escore total	Desvio Padrão	Perc. acertos	
Experimental	10,65	4,24	51%	17,88	6,23	73%	0,72
Controle	13,85	4,51	66%	18,12	4,45	75%	0,64

TABELA 11 - Comparação entre o grupo experimental e o grupo de controle nas médias ajustadas do teste final.

Grupo	Média ajustada no teste final	F	Nível de Significância estatística
Experimental	19,21	4,08	0,049
Controle	16,79		

Da tabela 11 vemos que o grupo experimental possui uma média superior ao grupo de controle e que podemos descartar a hipótese nula (o desempenho médio dos estudantes é o mesmo com ou sem a aplicação do tratamento) em um nível de significância menor do que 0,05.

Este resultado sugere fortemente que é vantajoso utilizar atividades complementares de modelagem com o *Modellus* para promover uma aprendizagem significativa em Física na área de interpretação de gráficos da Cinemática.

5.3 ANÁLISE DO LEVANTAMENTO DE OPINIÕES E DAS ENTREVISTAS

Tendo em vista o resultado positivo sobre a significância do tratamento apresentado na seção anterior, buscamos validar a nossa hipótese de pesquisa analisando também os dados obtidos a partir do levantamento das opiniões escritas e das entrevistas sobre a aplicação do tratamento, e seus resultados, com alunos pertencentes ao grupo experimental, conforme mencionado no capítulo anterior.

A partir dessa análise, acreditamos que ocorreram melhorias nas condições de aprendizagem significativa devido à complementação da atividade tradicional pelas atividades de modelagem na medida em que estas permitiram que os alunos percebessem a relevância das relações matemáticas subjacentes aos modelos físicos e

refletissem sobre o papel desempenhado pelos gráficos no estudo dos movimentos. Nas palavras dos próprios alunos:

“...pude aprender o que é o ‘desenho’ de um gráfico, o que ele mostra e o que ele está representando. Antes eu procurava ‘fugir’ de um problema que tivesse gráficos, agora eu noto como a gente pode extrair muitas informações úteis deles.”
(Aluno 1)

“Ao fazer as atividades tu vês no que o valor das equações mudam o jeito dos gráficos, ou o que eles estão representando na vida real.” (Aluno 2)

“...ao mexer com uma barra para lá e para cá podemos observar o que isto causa no nosso movimento. Como essa mexida na barra representa que a gente está mudando algum valor numa equação, podemos saber o que a variável que a gente está mexendo representa no movimento e nos gráficos.” (Aluno 3)

“Na parte de criação a gente consegue ver o que precisa e o que não é tão necessário botar, para criar um modelo do nosso problema.” (Aluno 4)

“...eu achei bem interessante perceber que o gráfico não é uma fotografia do movimento, um carrinho pode estar andando para um lado e o gráfico que representa a posição (contra o tempo) dele estar para cima. Tu tens que analisar o movimento bem para poder montar o gráfico.” (Aluno 5)

“...acho que com o Modellus fica bem fácil identificar o que a gente pode tirar (extrair informações) dele, dá para ver também que o gráfico da velocidade não vai ser sempre igual ao da aceleração como eu achava que era.” (Aluno 6)

“Eu achei o Modellus bem interessante e até já usei ele em outras aplicações, por exemplo o meu pai trabalha na área ambiental e queria traçar uns gráficos, eu ‘quebrei um pouco a cabeça’, mas depois a gente conseguiu, não é só na Física que dá para usar. Ele é uma ferramenta muito útil.” (Aluno 7)

Acreditamos também que o tratamento tenha gerado uma disposição para aprender nos alunos devido às atividades de modelagem permitirem aos estudantes reverem conceitos e problemas, vistos anteriormente da forma tradicional, de uma perspectiva nova, onde eles podem observar e interagir com aquilo que estão estudando, não resumindo o processo de ensino/aprendizagem de Física a uma questão de encontrar e aplicar a fórmula certa para o exercício dado. Nas palavras dos próprios alunos:

“Eu gostei muito do programa, às vezes não tem exercício nem nada e eu fico querendo saber, me perguntado, como seria o gráfico de determinado movimento ou de outro. Inclusive nos problemas dados em aula (disciplina de Física Geral) eu tento usar o Modellus para resolvê-los.” (Aluno 1)

“Eu gostei muito daquelas atividades em que tu escolheste um determinado movimento para analisar e pediste que a gente fizesse um gráfico dele e depois quando nós já tínhamos feito esse gráfico a gente podia comparar com aquele do modelo e ver se tinha alguma coisa diferente ou não. Isso é muito legal.” (Aluno 8)

“Bah, o Modellus é 10, é muito legal cara, porque tu podes ver no que os números se transformam dentro de um gráfico ou no movimento mesmo e ainda por cima fazer isto de uma forma divertida.” (Aluno 3)

“Gostei muito das atividades do curso, até nos exercícios de aula (disciplina de Física Geral) mesmo eu já apliquei o Modellus algumas vezes para ver se o resultado de uma conta estava certa ou não.” (Aluno 4)

“Ao fazer as atividades com o Modellus e o auxílio do professor, algumas coisas que eu não entendia bem, se tornaram claras e agora até parecem óbvias” (Aluno 9)

“...eu achei o curso muito bom, pois através dele eu aprendi muitas coisas, que eu já tinha visto antes em aula, mas não conseguia visualizar como seria no mundo real.” (Aluno 6)

“O que eu achei mais legal é ver que dá para fazer com o Modellus (criar um modelo) uma experiência que demoraria muito tempo ou seria muito difícil de fazer no laboratório, do tipo um carro percorrendo 200 km em um tempo x , e ver os resultados dela quase instantaneamente.” (Aluno 10)

A partir dos dados obtidos com o levantamento de opiniões escritas e entrevistas, montamos a tabela 12 para fornecer uma idéia geral sobre a receptividade do tratamento.

Estes dados mostram claramente a excelente aceitação que o tratamento teve com os estudantes.

No capítulo seguinte apresentaremos as conclusões deste trabalho.

TABELA 12 – Visão geral da opinião dos alunos sobre o tratamento.

Perguntas	Alunos respondentes (N=26)	Opiniões
1) O que você achou do <i>Modellus</i> ?	26	Todos manifestaram-se positivamente
2) O que você achou do curso?	26	Todos gostaram do curso
3) O curso serviu aos seus propósitos? (Você acha que conseguiu aprender interpretação de gráficos da cinemática?)	26	Todos responderam afirmativamente
4) Na sua opinião, um dos tipos de atividades (exploratória ou de criação) foi mais facilitadora em termos de aprendizagem?	13	Responderam ambos os tipos
	8	As atividades exploratórias
	5	As atividades de criação
5) Faltou algo no curso? O que poderia ser feito para melhorá-lo?	18	Não identificaram nenhuma lacuna no curso
	8	Sugeriram mais tempo para a realização das atividades
6) Você recomendaria este curso aos seus colegas?	26	Todos manifestaram-se positivamente
7) Você acha que este curso deve ser oferecido para outras turmas em outras oportunidades?	26	Todos afirmaram que sim
8) Você acha que o <i>Modellus</i> deveria ser incorporado rotineiramente nas disciplinas de Física?	26	Todos acharam que deve

6 CONCLUSÃO

Com o advento dos softwares educacionais no ensino de Física, faz-se necessário, como destacamos na Introdução, investigar sua contribuição ao processo de aprendizagem do aluno. Apesar do crescente uso destes novos recursos, curiosamente, ainda há poucos trabalhos de pesquisa na área.

Dentre as várias possibilidades de uso da informática no ensino de Física, optamos pela modelagem computacional, por acreditarmos que esta seja a que melhor possibilita a interação dos estudantes com o processo de construção e análise do conhecimento científico, permitindo que compreendam melhor os modelos físicos.

Dos vários *softwares* atualmente disponíveis, optamos pelo *Modellus* por ele ser um *software* que permite ao aluno fazer experimentos conceituais utilizando modelos matemáticos definidos a partir de funções, derivadas, taxas de variação, equações diferenciais e equações a diferença, escritos de forma direta, ou seja, assim como o aluno aprendeu na sala de aula. Um outro aspecto positivo em relação ao *Modellus* é o fato dele ser um *software* livre sendo distribuído gratuitamente na internet. Este fato, além das potencialidades da ferramenta, contribuiu para que sua utilização ocorresse em nível mundial.

Na área de ensino, nossa escolha recaiu sobre o tema interpretação de gráficos da Cinemática, por se tratar de um assunto amplamente discutido na literatura e fundamental na formação de conceitos apresentados posteriormente ao longo dos cursos de Física. Apesar desta pesquisa abordar especificamente esse tópico, certamente as potencialidades da modelagem computacional podem ser aproveitadas em outros diferentes contextos onde a natureza dinâmica de determinados fenômenos físicos precisem ser explicitadas, possibilitando ao aluno perceber que o estudo destes

não se resume a uma mera aplicação de fórmulas. Pesquisas sobre os benefícios advindos do uso de modelagem computacional em outros contextos, seriam, então, necessárias.

Tivemos como meta neste trabalho determinar se os alunos teriam ganhos significativos em termos de aprendizagem de Física, após passarem por uma série de atividades complementares de modelagem aplicadas em situações de laboratório durante um curto intervalo de tempo. Estas atividades foram desenvolvidas levando em conta dois fatores importantes: as dificuldades apresentadas comumente pelos alunos ao interpretarem gráficos da Cinemática (tabela 1, cap. 2) e os objetivos que os alunos teriam que atingir para melhorar esta interpretação (tabela 2, cap. 2).

Os resultados deste estudo indicam que o grupo exposto ao tratamento obteve um desempenho médio melhor do que o grupo submetido apenas ao método tradicional de ensino. Tais resultados sugerem que o uso de atividades de modelagem, através do *Modellus*, pode auxiliar o professor complementando sua prática docente, inclusive em uma escala maior. Cabe aqui ressaltar que este estudo não teve como objetivo julgar o *software* como “útil” ou não ao ensino em termos absolutos. Acreditamos que não faça sentido avaliar uma ferramenta como um fim em si, pois a eficiência desta dependerá diretamente de onde, quando e como ela será empregada.

Outro aspecto importante a ser salientado é o da motivação para aprender proporcionada pelo tratamento aos estudantes. Além do interesse natural despertado pelo uso de microcomputadores, os resultados sugerem que a aplicação de atividades de modelagem exerce uma influência positiva na predisposição do indivíduo para aprender Física. Isto ocorre na medida em 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.

De um ponto de vista mais imediato, podemos mencionar como contribuições deste trabalho uma versão adaptada para o português e validada do teste TUG-K e um conjunto de modelos e atividades (Araújo e Veit, 2002b) que estão disponíveis para a comunidade para uso em atividades relativas a interpretação de gráficos da cinemática.

Como uma perspectiva futura de pesquisa, limitada à área de interpretação de gráficos da Cinemática, a resposta para seguinte questão poderia vir a apontar direções que guiassem eventuais estudos na área: *quais dificuldades específicas, comumente apresentadas pelos alunos neste tópico, podem ser superadas a partir do uso de atividades semelhantes às utilizadas neste trabalho?*

Outra perspectiva para eventuais estudos futuros seria a de como o uso da modelagem computacional no ensino de Física pode influenciar o processo de modelagem mental (sob referencial de Johnson-Laird, 1983) dos alunos. Neste referencial os modelos mentais são vistos como blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinaados de acordo com a vontade (e necessidade) do indivíduo. Estes modelos são uma forma de representação analógica estrutural do conhecimento, existindo uma correspondência direta entre as entidades e relações presentes na estrutura dessa representação e as entidades e relações de estados de coisas do mundo que se quer representar. Outras características importantes a serem ressaltadas dizem respeito a natureza dos modelos mentais, admitindo estes como tácitos (no sentido da impossibilidade de observação direta dos mesmos), dinâmicos (podem ser reformulados em qualquer instante) e instáveis existindo apenas durante o processo de modelagem mental. Quando eles adquirem estabilidade passam a ser

vistos como um outro tipo de representação, por exemplo, um esquema (Moreira, 2002; Greca e Moreira, 2002).

Para finalizar esta conclusão salientamos a importância de pesquisas científicas que se ocupem em investigar de que forma o aprendiz relaciona e compreende os conceitos físicos trabalhados com o uso do computador e como extrair um proveito máximo deste tipo de ferramenta. Sem pesquisas deste tipo, corremos o risco de prestar um desserviço aos nossos alunos, pois se por um lado estamos empregando métodos e materiais inovadores, por outro lado ignoramos como estes são assimilados por eles, o que pode ocasionar o reforço de pensamentos e atitudes que justamente estamos tentando superar.

APÊNDICE A

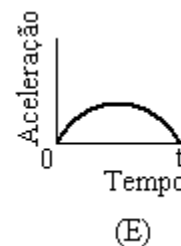
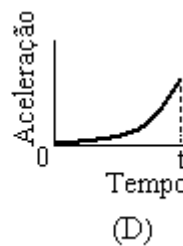
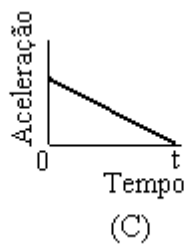
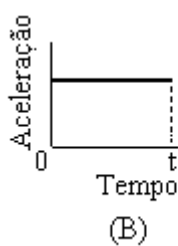
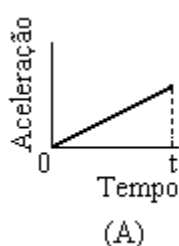
Interpretação de gráficos da Cinemática (Teste Inicial)

Este teste é constituído por 21 questões de escolha múltipla com cinco alternativas. Dentre as alternativas escolha **apenas uma**, a que melhor responde à questão, assinalando-a na grade em anexo.

Todas as questões deste teste referem-se a movimentos retilíneos.

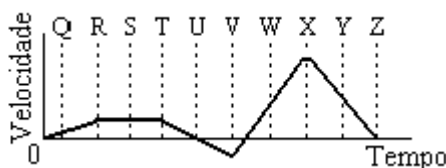
NÃO FAÇA MARCAS NAS FOLHAS DO TESTE. ASSINALE APENAS NA GRADE.

- 1) Os gráficos da aceleração *versus* tempo para cinco objetos são mostrados abaixo. Todos os eixos têm a mesma escala. Qual objeto sofre maior variação na sua velocidade durante o intervalo de 0 a t ?



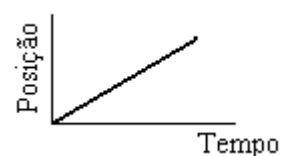
- 2) No gráfico abaixo, quando a aceleração é mais negativa?

- (A) de R até T
- (B) de T até V
- (C) em V
- (D) em X
- (E) de X até Z



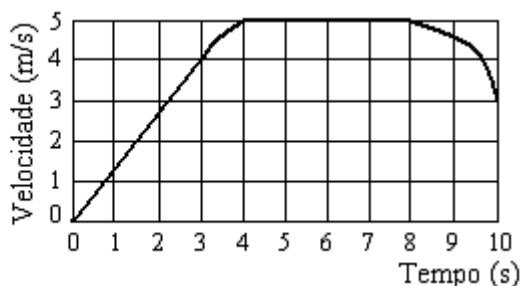
- 3) O gráfico à direita representa o movimento de um objeto. Qual das sentenças é a melhor interpretação desse movimento?

- (A) O objeto está se movendo com aceleração constante e diferente de zero.
- (B) O objeto não se move.
- (C) O objeto está se movendo com uma velocidade que aumenta uniformemente.
- (D) O objeto está se movendo com velocidade constante.
- (E) O objeto está se movendo com uma aceleração que aumenta uniformemente.



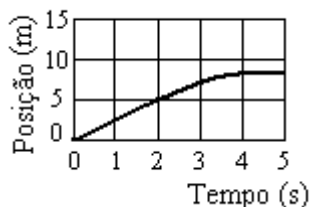
- 4) Um elevador se move do térreo até o 10º andar de um edifício. A massa do elevador é de 1000 kg e ele se move como mostrado no gráfico de velocidade *versus* tempo abaixo. Que distância ele percorre durante os três primeiros segundos do movimento?

- (A) 0,75 m
 (B) 1,33 m
 (C) 4,00 m
 (D) 6,00 m
 (E) 12,00 m



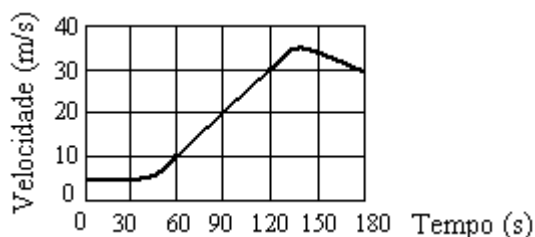
- 5) O gráfico abaixo representa o movimento de um objeto. A velocidade deste objeto no instante de tempo 2 segundos é:

- (A) 0,4 m/s
 (B) 2,0 m/s
 (C) 2,5 m/s
 (D) 5,0 m/s
 (E) 10,0 m/s



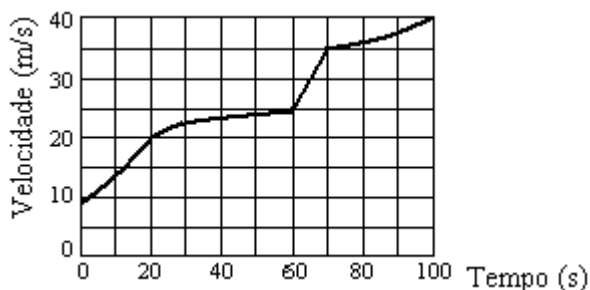
- 6) Este gráfico mostra a velocidade em função do tempo para um carro de massa $1,5 \times 10^3$ kg. Qual é a aceleração deste carro em $t = 90$ s?

- (A) $0,22 \text{ m/s}^2$
 (B) $0,33 \text{ m/s}^2$
 (C) $1,00 \text{ m/s}^2$
 (D) $9,80 \text{ m/s}^2$
 (E) $20,00 \text{ m/s}^2$

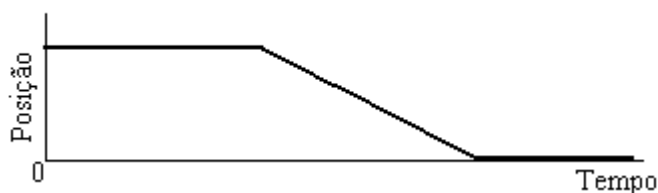


- 7) O movimento de um objeto é representado pelo seguinte gráfico. No instante $t = 65$ s, a magnitude da aceleração instantânea do objeto é mais próxima de:

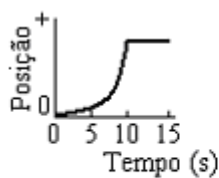
- (A) $1,0 \text{ m/s}^2$
 (B) $2,0 \text{ m/s}^2$
 (C) $9,8 \text{ m/s}^2$
 (D) $30,0 \text{ m/s}^2$
 (E) $34,0 \text{ m/s}^2$



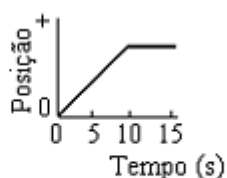
- 8) O gráfico abaixo descreve o movimento de um objeto. Qual sentença representa uma interpretação correta desse movimento?



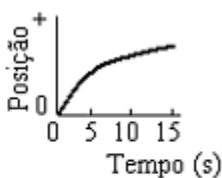
- (A) O objeto rola ao longo de uma superfície plana. Então, ele desce um plano inclinado e finalmente pára.
- (B) O objeto inicialmente não se move. Então, ele desce um plano inclinado e finalmente pára.
- (C) O objeto está se movendo com velocidade constante. Então, ele diminui sua velocidade e pára.
- (D) O objeto inicialmente não se move. Então, ele se move e finalmente pára.
- (E) O objeto se move ao longo de uma área plana, movendo-se para trás na descida de um plano inclinado, e então, continua se movendo.
- 9) Um objeto parte do repouso e movimentar-se por 10 segundos com uma aceleração positiva constante. Ele continua, então, com velocidade constante. Qual dos seguintes gráficos descreve corretamente esta situação?



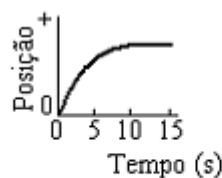
(A)



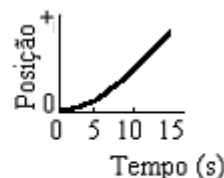
(B)



(C)

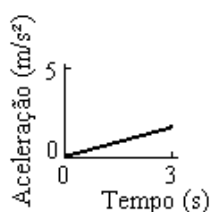


(D)

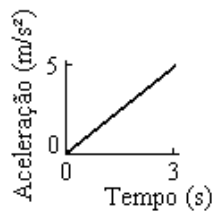


(E)

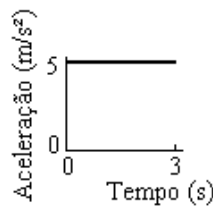
- 10) Cinco objetos se movem de acordo com os seguintes gráficos de aceleração *versus* tempo. Qual deles apresenta a menor variação na sua velocidade durante o intervalo de três segundos?



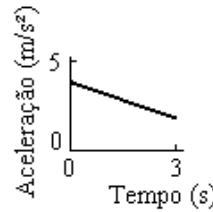
(A)



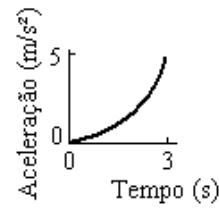
(B)



(C)

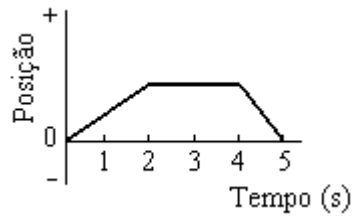


(D)

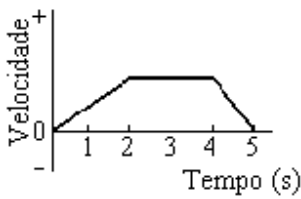


(E)

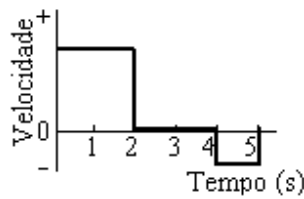
- 11) Segue abaixo o gráfico posição *versus* tempo para um objeto durante um intervalo de 5 s.



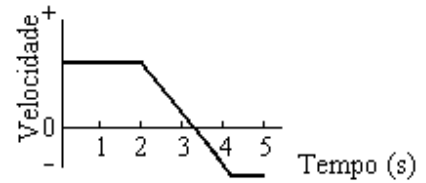
Qual dos seguintes gráficos de velocidade *versus* tempo melhor representa o movimento do objeto durante o mesmo intervalo de tempo?



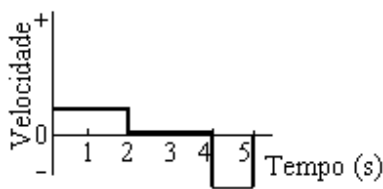
(A)



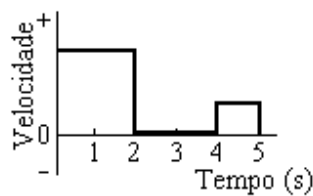
(B)



(C)

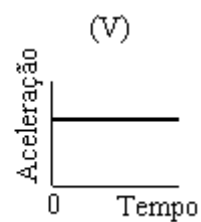
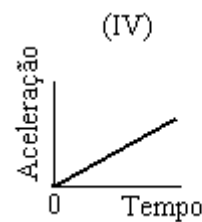
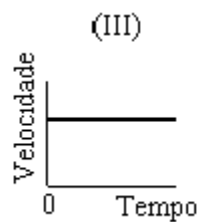
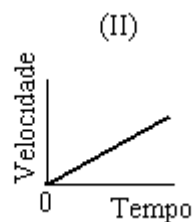
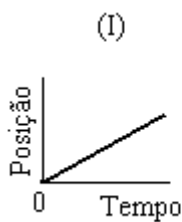


(D)



(E)

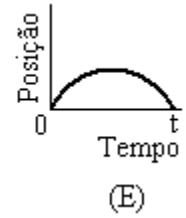
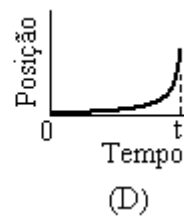
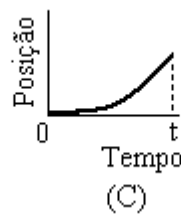
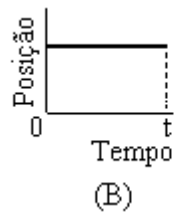
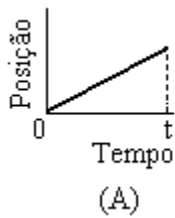
- 12) Considere os gráficos seguintes observando que o eixo das ordenadas pode representar diferentes grandezas:



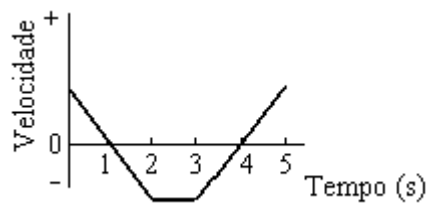
Qual(is) destes gráficos representa(m) um movimento com velocidade constante?

- (A) I, II e IV
 (B) I e III
 (C) II e V
 (D) Somente IV
 (E) Somente V

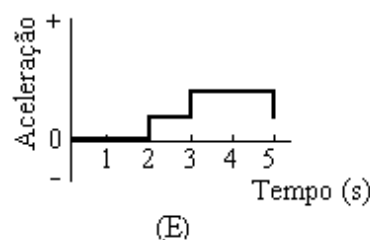
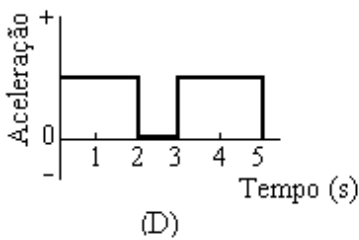
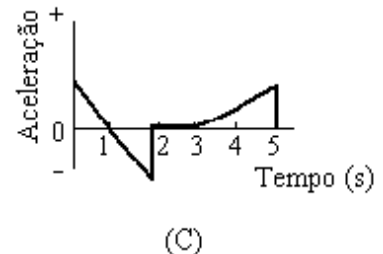
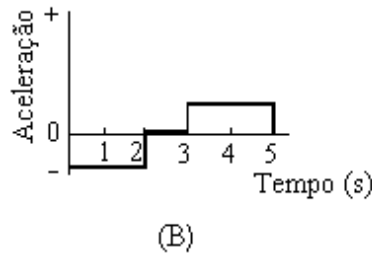
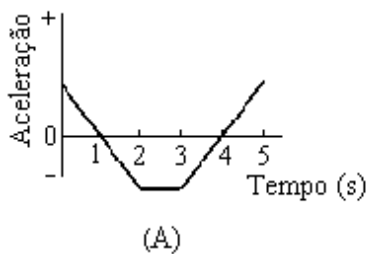
- 13) Os gráficos de posição *versus* tempo para cinco objetos são mostrados abaixo. Todos os eixos têm a mesma escala. Qual objeto possui a maior velocidade instantânea durante o intervalo de 0 a t ?



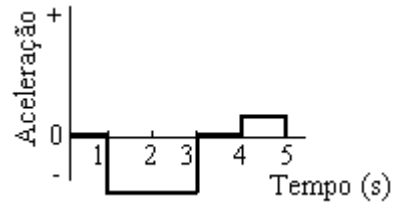
- 14) O gráfico velocidade *versus* tempo do movimento de um objeto, durante o intervalo de 5 segundos, é mostrado abaixo:



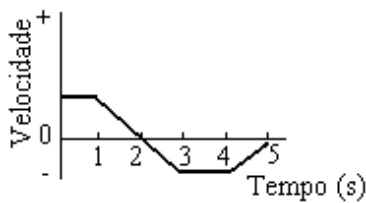
Qual dos seguintes gráficos de aceleração *versus* tempo melhor representa o movimento do objeto durante o mesmo intervalo de tempo?



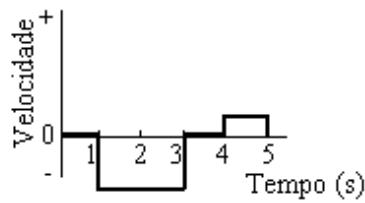
- 15) Abaixo temos o gráfico da aceleração de um objeto durante um intervalo de tempo de 5 segundos.



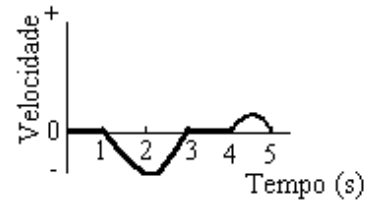
Qual dos seguintes gráficos de velocidade *versus* tempo melhor representa o movimento do objeto durante o mesmo intervalo de tempo?



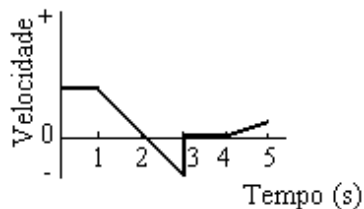
(A)



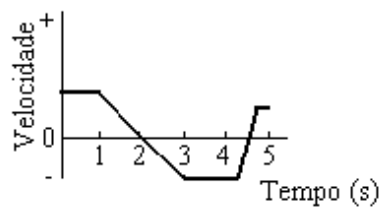
(B)



(C)

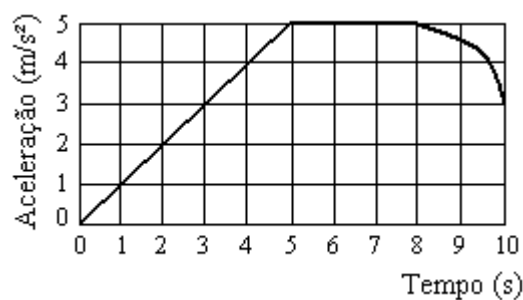


(D)



(E)

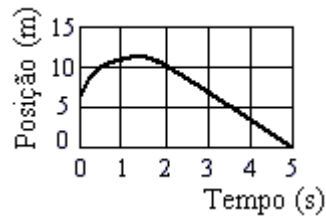
- 16) Um objeto move-se de acordo com o gráfico abaixo:



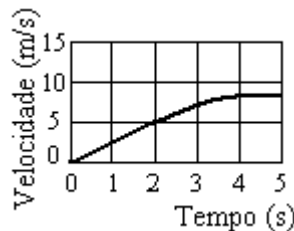
A variação na velocidade do objeto durante os primeiros 3 segundos é de:

- (A) 0,7 m/s (B) 1,0 m/s (C) 3,0 m/s (D) 4,5 m/s (E) 9,8 m/s

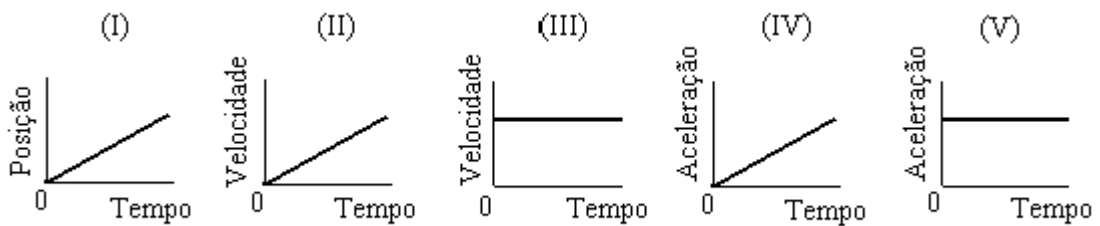
- 17) O gráfico abaixo representa o movimento de um objeto. A velocidade deste objeto no instante 3 segundos é de aproximadamente:



- (A) $-3,33$ m/s (B) $-2,00$ m/s (C) $-0,67$ m/s (D) $5,00$ m/s (E) $7,00$ m/s
- 18) Se você quisesse saber a distância percorrida (em metros) por um objeto no intervalo de $t = 0$ s até $t = 2$ s, a partir do gráfico abaixo, você poderia:



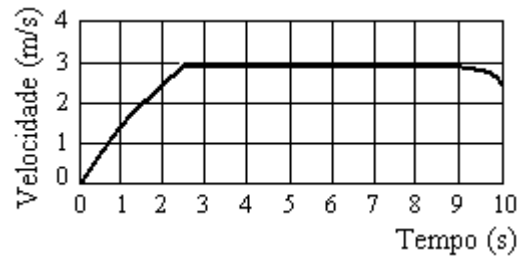
- (A) ler 5 diretamente no eixo vertical.
 (B) encontrar a área entre o segmento de reta e o eixo do tempo calculando $(5 \times 2)/2$.
 (C) encontrar a inclinação deste segmento de reta dividindo 5 por 2.
 (D) encontrar a inclinação deste segmento dividindo 15 por 5.
 (E) fazer nada, pois não possui informação suficiente para responder.
- 19) Considere os gráficos seguintes observando que o eixo das ordenadas pode representar diferentes grandezas:



Qual(is) deles representa(m) um movimento com aceleração constante diferente de zero?

- (A) I, II e IV
 (B) I e III
 (C) II e V
 (D) Somente IV
 (E) Somente V

20) Um objeto se move de acordo com o gráfico abaixo:

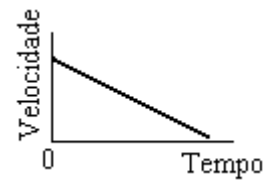


Qual é o seu deslocamento entre $t = 4\text{s}$ e $t = 8\text{s}$?

- (A) 0,75 m (B) 3,00 m (C) 4,00 m (D) 8,00 m (E) 12,00 m

21) O gráfico à direita representa o movimento de um objeto. Qual das sentenças é a melhor interpretação desse movimento?

- (A) O objeto se move com uma aceleração constante.
(B) O objeto se move com uma aceleração que diminui uniformemente.
(C) O objeto se move com uma velocidade que aumenta uniformemente.
(D) O objeto se move com velocidade constante.
(E) O objeto não se move.



RESPOSTAS DO TESTE INICIAL:

1	B
2	E
3	D
4	D
5	C
6	B
7	A
8	D
9	E
10	A
11	D
12	B
13	D
14	B
15	A
16	D
17	A
18	B
19	C
20	E
21	A

APÊNDICE B

Interpretação de Gráficos da Cinemática (Teste Final)

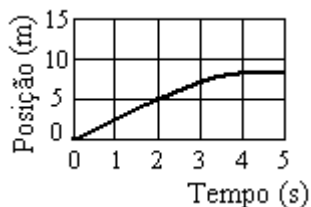
Este teste é constituído por 25 questões de escolha simples com cinco alternativas. Dentre as alternativas escolha **apenas uma**, a que melhor responde à questão, assinalando-a na grade em anexo.

Todas as questões deste teste referem-se a movimentos retilíneos.

NÃO FAÇA MARCAS NAS FOLHAS DO TESTE. ASSINALE APENAS NA GRADE.

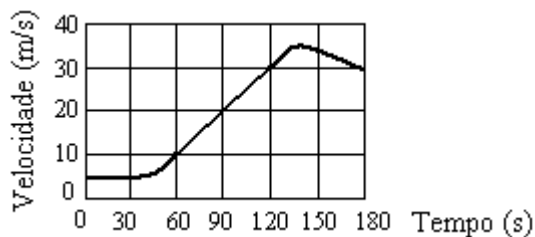
- 1) O gráfico abaixo representa o movimento de um objeto. A velocidade deste objeto no instante de tempo 2 segundos é:

- (A) 0,4 m/s
- (B) 2,0 m/s
- (C) 2,5 m/s
- (D) 5,0 m/s
- (E) 10,0 m/s



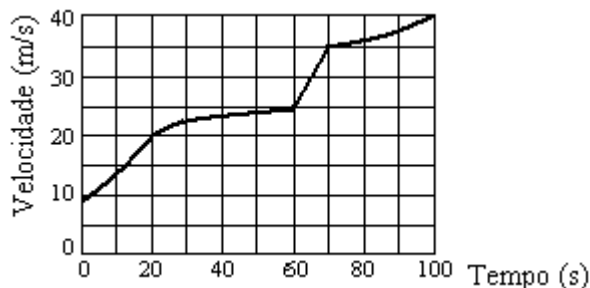
- 2) Este gráfico mostra a velocidade em função do tempo para um carro de massa $1,5 \times 10^3$ kg. Qual é a aceleração deste carro em $t = 90$ s?

- (A) $0,22 \text{ m/s}^2$
- (B) $0,33 \text{ m/s}^2$
- (C) $1,00 \text{ m/s}^2$
- (D) $9,80 \text{ m/s}^2$
- (E) $20,00 \text{ m/s}^2$

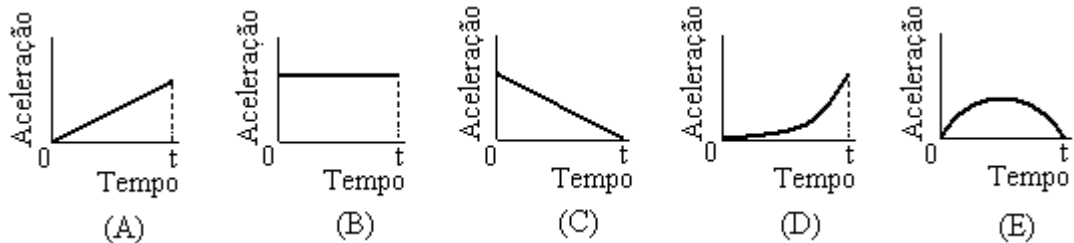


- 3) O movimento de um objeto é representado pelo seguinte gráfico. No instante $t = 65$ s, a magnitude da aceleração instantânea do objeto é mais próxima de:

- (A) $1,0 \text{ m/s}^2$
- (B) $2,0 \text{ m/s}^2$
- (C) $9,8 \text{ m/s}^2$
- (D) $30,0 \text{ m/s}^2$
- (E) $34,0 \text{ m/s}^2$

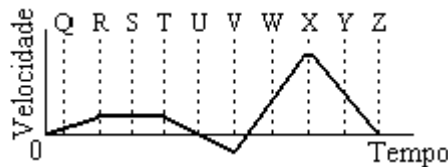


- 4) Os gráficos da aceleração *versus* tempo para cinco objetos são mostrados abaixo. Todos os eixos têm a mesma escala. Qual objeto sofre maior variação na sua velocidade durante o intervalo de 0 a t ?

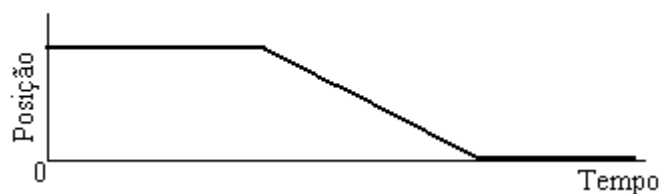


- 5) No gráfico abaixo, quando a aceleração é mais negativa?

- (A) de R até T
- (B) de T até V
- (C) em V
- (D) em X
- (E) de X até Z

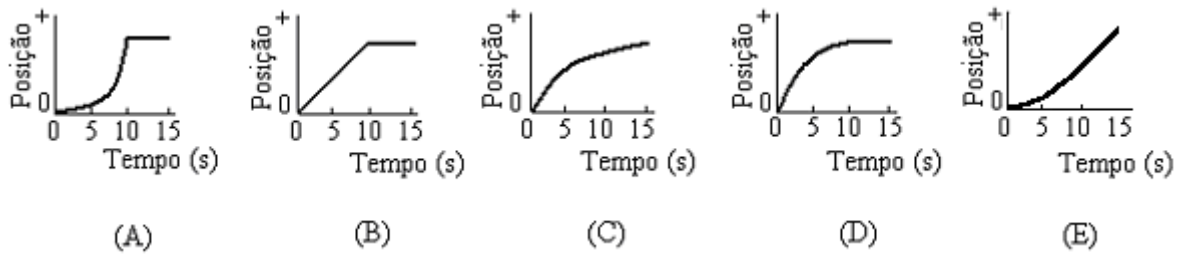


- 6) O gráfico abaixo descreve o movimento de um objeto. Qual sentença representa uma interpretação correta desse movimento?

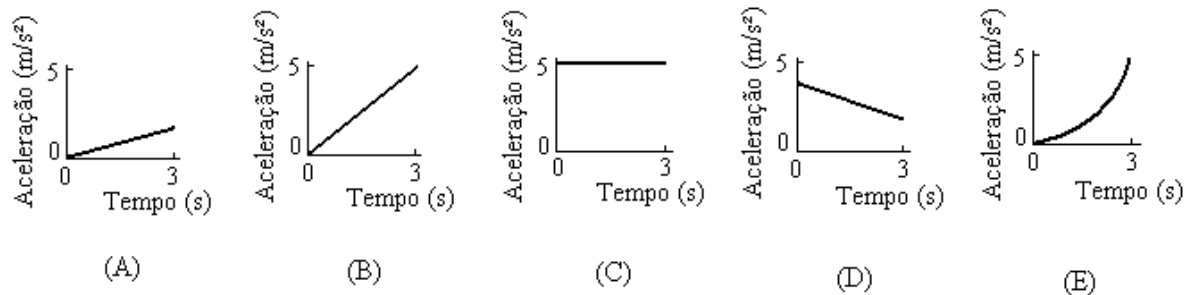


- (A) O objeto rola ao longo de uma superfície plana. Então, ele desce um plano inclinado e finalmente pára.
- (B) O objeto inicialmente não se move. Então, ele desce um plano inclinado e finalmente pára.
- (C) O objeto está se movendo com velocidade constante. Então, ele diminui sua velocidade e pára.
- (D) O objeto inicialmente não se move. Então, ele se move e finalmente pára.
- (E) O objeto se move ao longo de uma área plana, movendo-se para trás na descida de um plano inclinado, e então, continua se movendo.

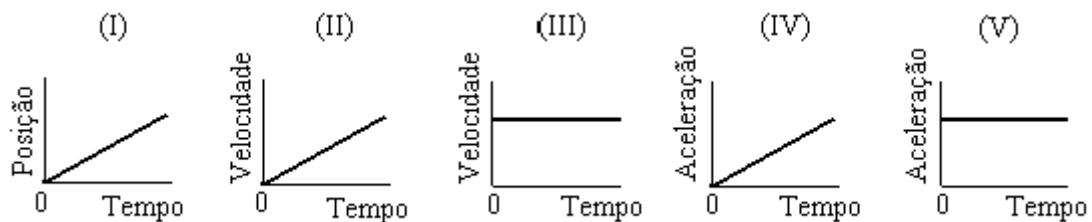
- 7) Um objeto parte do repouso e movimenta-se por 10 segundos com uma aceleração positiva constante. Ele continua, então, com velocidade constante. Qual dos seguintes gráficos descreve corretamente esta situação?



- 8) Cinco objetos se movem de acordo com os seguintes gráficos de aceleração *versus* tempo. Qual deles apresenta a menor variação na sua velocidade durante o intervalo de três segundos?



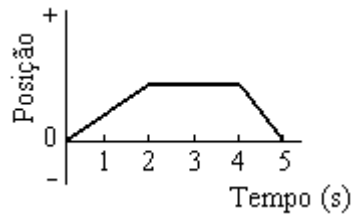
- 9) Considere os gráficos seguintes observando que o eixo das ordenadas pode representar diferentes grandezas:



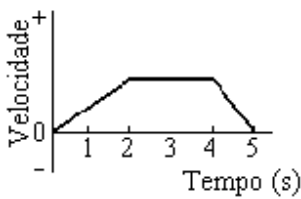
Qual(is) destes gráficos representa(m) um movimento com velocidade constante?

- (A) I, II e IV
 (B) I e III
 (C) II e V
 (D) Somente IV
 (E) Somente V

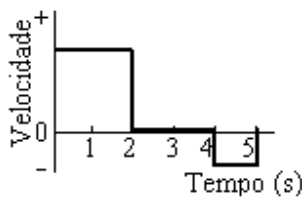
- 10) Segue abaixo o gráfico posição *versus* tempo para um objeto durante um intervalo de 5 s.



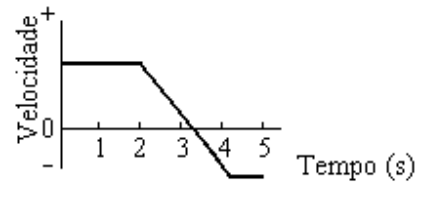
- Qual dos seguintes gráficos de velocidade *versus* tempo melhor representa o movimento do objeto durante o mesmo intervalo de tempo?



(A)



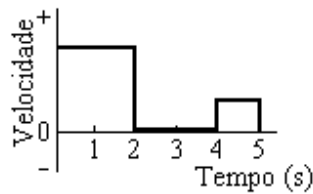
(B)



(C)

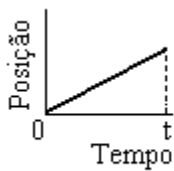


(D)

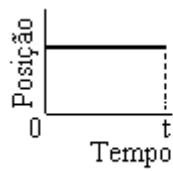


(E)

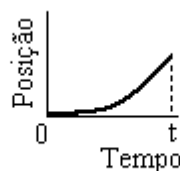
- 11) Os gráficos de posição *versus* tempo para cinco objetos são mostrados abaixo. Todos os eixos têm a mesma escala. Qual objeto possui a maior velocidade instantânea durante o intervalo de 0 a t ?



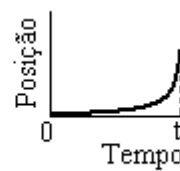
(A)



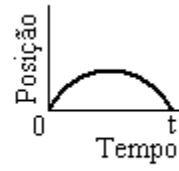
(B)



(C)

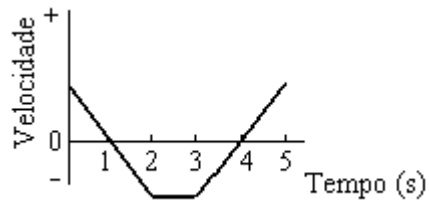


(D)

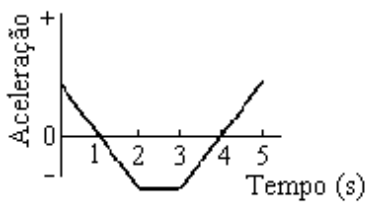


(E)

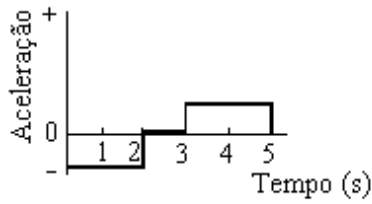
- 12) O gráfico velocidade *versus* tempo do movimento de um objeto, durante o intervalo de 5 segundos, é mostrado abaixo:



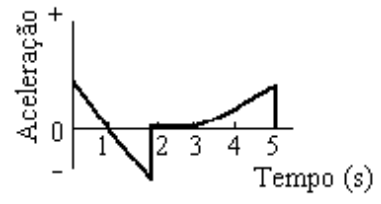
Qual dos seguintes gráficos de aceleração *versus* tempo melhor representa o movimento do objeto durante o mesmo intervalo de tempo?



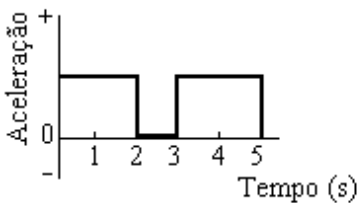
(A)



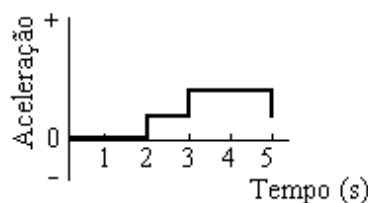
(B)



(C)

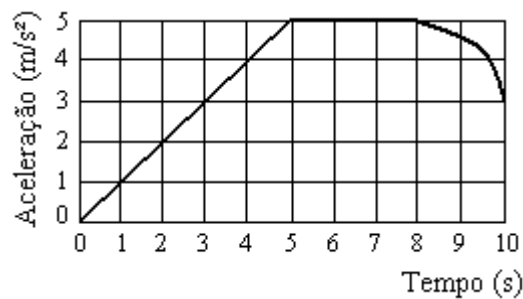


(D)



(E)

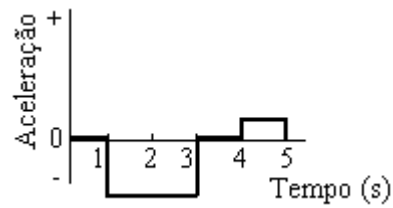
- 13) Um objeto move-se de acordo com o gráfico abaixo:



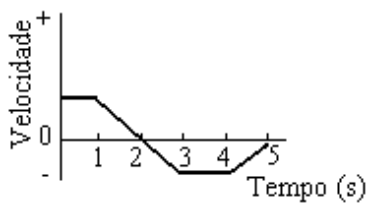
A variação na velocidade do objeto durante os primeiros 3 segundos é de:

- (A) 0,7 m/s (B) 1,0 m/s (C) 3,0 m/s (D) 4,5 m/s (E) 9,8 m/s

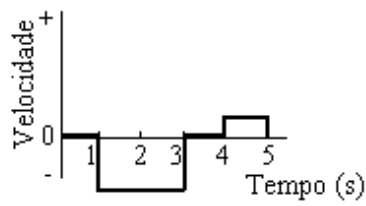
- 14) Abaixo temos o gráfico da aceleração de um objeto durante um intervalo de tempo de 5 segundos.



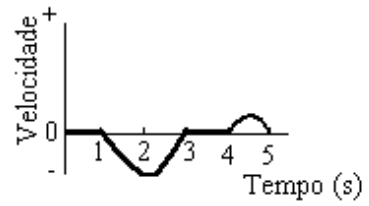
Qual dos seguintes gráficos de velocidade *versus* tempo melhor representa o movimento do objeto durante o mesmo intervalo de tempo?



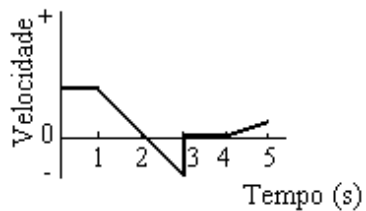
(A)



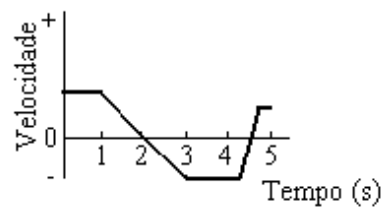
(B)



(C)

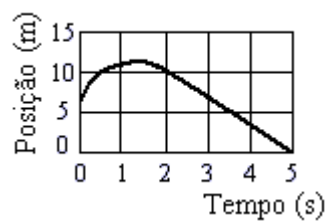


(D)



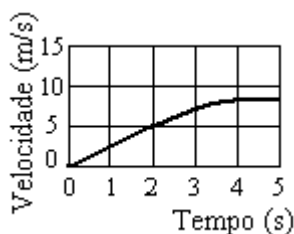
(E)

- 15) O gráfico abaixo representa o movimento de um objeto. A velocidade deste objeto no instante 3 segundos é de aproximadamente:

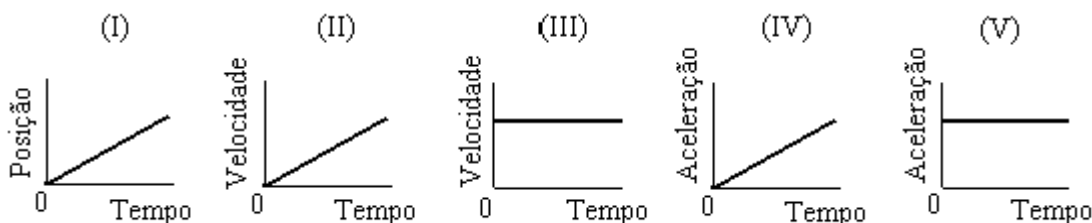


- (A) $-3,33$ m/s (B) $-2,00$ m/s (C) $-0,67$ m/s (D) $5,00$ m/s (E) $7,00$ m/s

- 16) Se você quisesse saber a distância percorrida (em metros) por um objeto no intervalo de $t = 0$ s até $t = 2$ s, a partir do gráfico abaixo, você poderia:

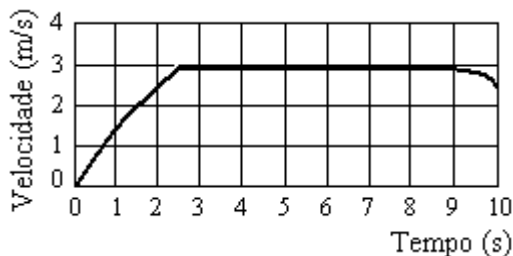


- (A) ler 5 diretamente no eixo vertical.
 (B) encontrar a área entre o segmento de reta e o eixo do tempo calculando $(5 \times 2)/2$.
 (C) encontrar a inclinação deste segmento de reta dividindo 5 por 2.
 (D) encontrar a inclinação deste segmento dividindo 15 por 5.
 (E) fazer nada, pois não possui informação suficiente para responder.
- 17) Considere os gráficos seguintes observando que o eixo das ordenadas pode representar diferentes grandezas:



Qual(is) deles representa(m) um movimento com aceleração constante diferente de zero?

- (A) I, II e IV
 (B) I e III
 (C) II e V
 (D) Somente IV
 (E) Somente V
- 18) Um objeto se move de acordo com o gráfico abaixo:

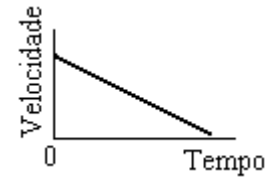


Qual é o seu deslocamento entre $t = 4$ s e $t = 8$ s?

- (A) 0,75 m (B) 3,00 m (C) 4,00 m (D) 8,00 m (E) 12,00 m

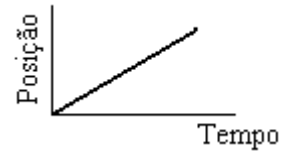
19) O gráfico à direita representa o movimento de um objeto. Qual das sentenças é a melhor interpretação desse movimento?

- (A) O objeto se move com uma aceleração constante.
- (B) O objeto se move com uma aceleração que diminui uniformemente.
- (C) O objeto se move com uma velocidade que aumenta uniformemente.
- (D) O objeto se move com velocidade constante.
- (E) O objeto não se move.



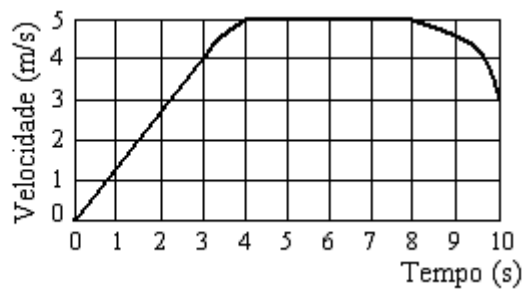
20) O gráfico à direita representa o movimento de um objeto. Qual das sentenças é a melhor interpretação desse movimento?

- (A) O objeto está se movendo com aceleração constante e diferente de zero.
- (B) O objeto não se move.
- (C) O objeto está se movendo com uma velocidade que aumenta uniformemente.
- (D) O objeto está se movendo com velocidade constante.
- (E) O objeto está se movendo com uma aceleração que aumenta uniformemente.

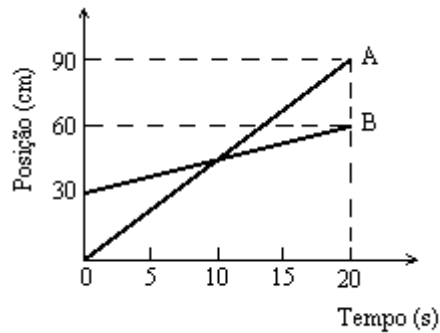


21) Um elevador se move do térreo até o 10º andar de um edifício. A massa do elevador é de 1000 kg e ele se move como mostrado no gráfico de velocidade *versus* tempo abaixo. Que distância ele percorre durante os três primeiros segundos do movimento?

- (A) 0,75 m
- (B) 1,33 m
- (C) 4,00 m
- (D) 6,00 m
- (E) 12,00 m

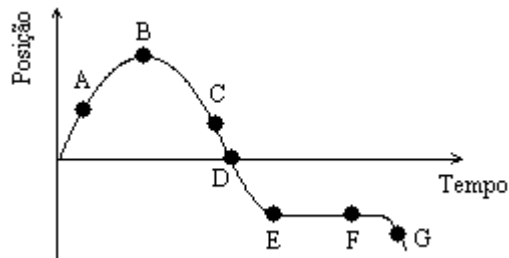


- 22) O gráfico de posição versus tempo para dois objetos A e B, em movimento ao longo de uma mesma direção, é mostrado abaixo.



Qual das seguintes alternativas está **correta**:

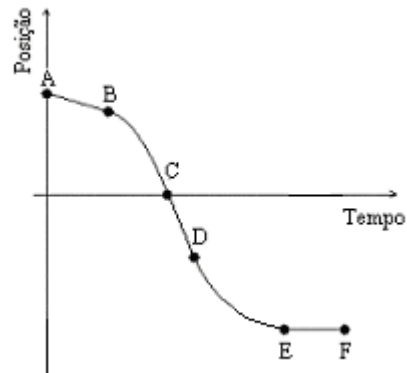
- A) Em $t = 5s$ a velocidade de B é maior do que a de A e em $t = 15s$ a velocidade de A é maior do que a velocidade de B.
 - B) No instante $t = 10s$ as velocidades são iguais.
 - C) A variação de velocidade do objeto A durante o intervalo de tempo de 20s é igual a 900 cm/s.
 - D) A aceleração do objeto A é maior do que a do objeto B.
 - E) Ambos os objetos possuem velocidades constantes, mas diferentes.
- 23) O gráfico abaixo representa a posição de um corpo em função do tempo.



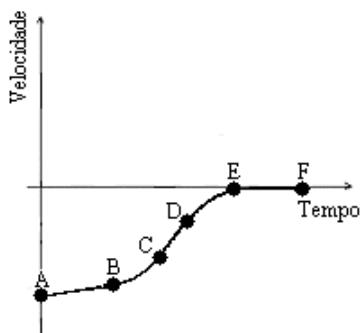
Qual das seguintes alternativas está **errada**:

- (A) No ponto B a velocidade do corpo é nula.
- (B) O módulo da velocidade do corpo está diminuindo entre os pontos A e B.
- (C) O módulo da velocidade tem seu menor valor no ponto G.
- (D) O módulo da velocidade está aumentando entre os pontos B e C.
- (E) A velocidade entre os pontos E e F é zero.

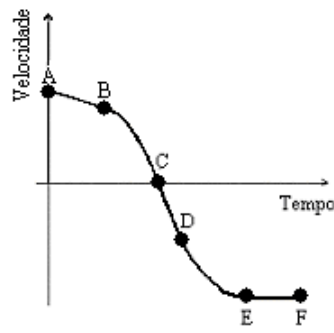
- 24) Um móvel descreve um movimento segundo o gráfico da posição versus tempo desenhado abaixo.



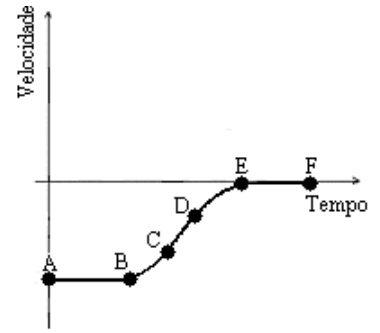
Qual das seguintes figuras representa melhor o gráfico de velocidade versus tempo do móvel?



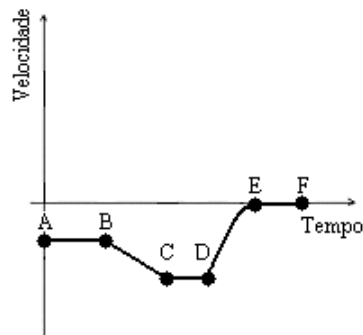
(A)



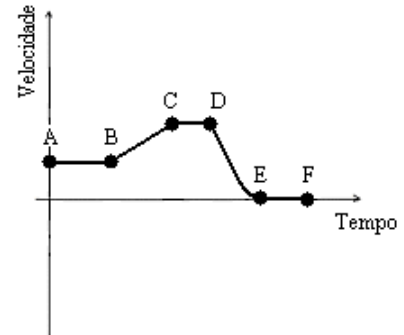
(B)



(C)

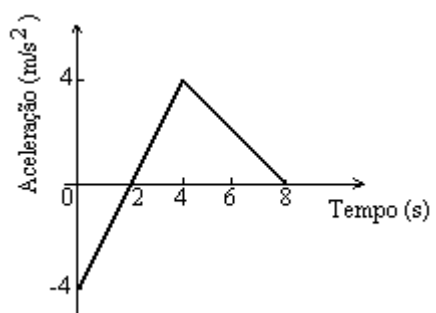


(D)



(E)

25) Abaixo temos o gráfico da aceleração de um corpo durante um intervalo de 8 s.



Qual foi a variação de velocidade do corpo neste intervalo?

- (A) $\Delta v = -4$ m/s
- (B) $\Delta v = 4$ m/s
- (C) $\Delta v = 8$ m/s
- (D) $\Delta v = 0$
- (E) $\Delta v = 12$ m/s

RESPOSTAS DO TESTE FINAL:

1	C
2	B
3	A
4	B
5	E
6	D
7	E
8	A
9	B
10	D
11	D
12	B
13	D
14	A
15	A
16	B
17	C
18	E
19	A
20	D
21	D
22	E
23	C
24	D
25	C

APÊNDICE C

Neste apêndice discutiremos as atividades desenvolvidas para a composição do material a ser aplicado no tratamento. Estas atividades estão disponíveis no CD que acompanha esta dissertação. Para um melhor entendimento do leitor a apresentação das atividades exploratórias foram subdivididas em quatro itens:

- a) objetivos a serem alcançados;
- b) dificuldades a serem trabalhadas;
- c) descrição geral do modelo e
- d) enunciados das atividades que os alunos receberam na forma impressa (estes mesmos enunciados também estão na janela Notas em cada modelo).

Quanto à execução do modelo o *software* apresenta, além da modalidade “normal (*play*)”, a possibilidade de auto-execução (o programa é imediatamente executado quando se abre o modelo) e execução passo-a-passo (onde o usuário pode acompanhar a evolução do modelo a cada iteração).

Aula 1 - Atividades Exploratórias

1) Gposhv.mdl

a) **Objetivos a serem alcançados:**

- Dado o gráfico da posição versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a velocidade.
- Dado um gráfico cinemático qualquer o estudante deverá ser capaz de descrever textualmente o movimento.

b) Dificuldades a serem trabalhadas:

- Visão de gráficos como uma fotografia do movimento.
- Confusão entre variáveis cinemáticas.

c) Descrição geral:

Próximo ao sistema de referência horizontal (vertical) há uma esfera vermelha (azul), cuja posição é designada por x (y), que só tem liberdade de movimento unidimensional. Ao executar o modelo e movimentar as esferas com o *mouse*, o gráfico posição versus tempo para cada uma delas é traçado de modo simultâneo ao movimento das esferas.

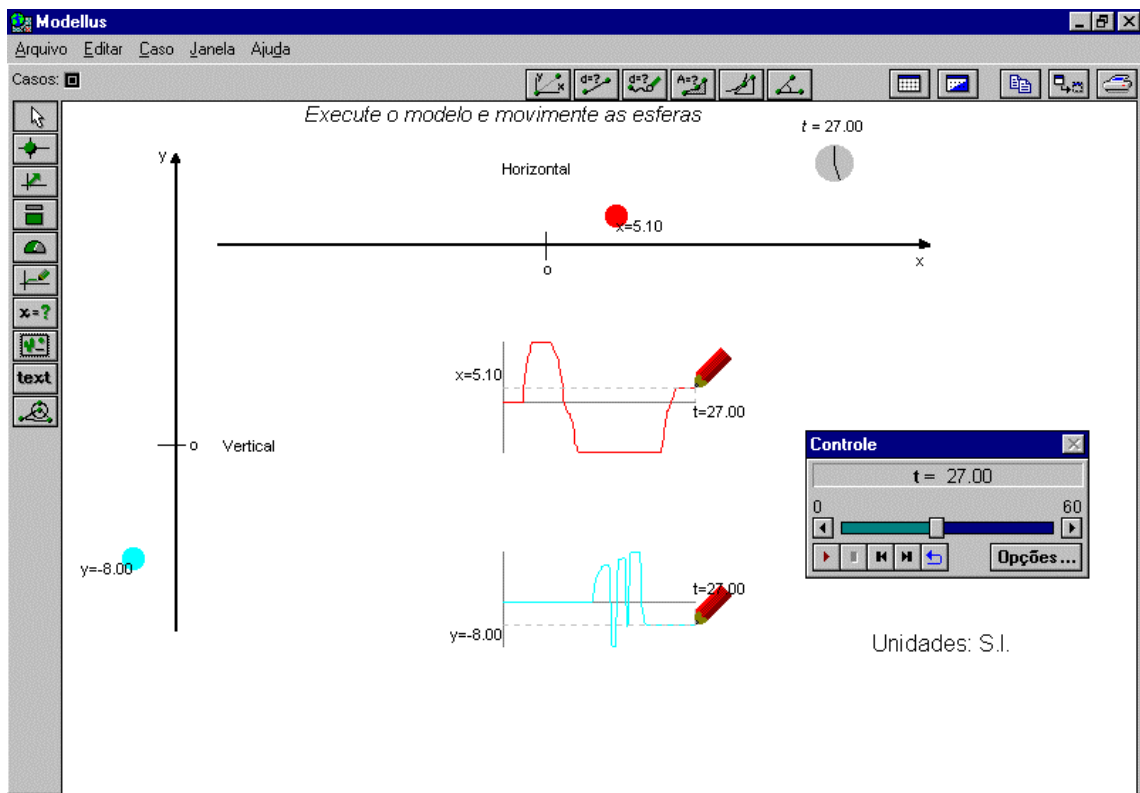


FIGURA C.1 – Tela ilustrativa do modelo Gposhv.mdl.

a) Enunciado:

Movimente horizontalmente a esfera vermelha e observe o gráfico de x versus tempo.

- a) Que tipo de trajetória a esfera vermelha descreve?
- b) Em que circunstância o gráfico x versus tempo apresenta uma reta horizontal?

- c) Descreva o movimento executado pela esfera vermelha, analisando o gráfico x versus tempo.

Movimente verticalmente a esfera azul e observe o gráfico de y em função do tempo.

- d) Observe que a trajetória da esfera azul é retilínea. Por que o gráfico y x t não é uma linha reta?
- e) Descreva o movimento executado pela esfera azul, analisando o gráfico y versus tempo.

2) Espiral.mdl

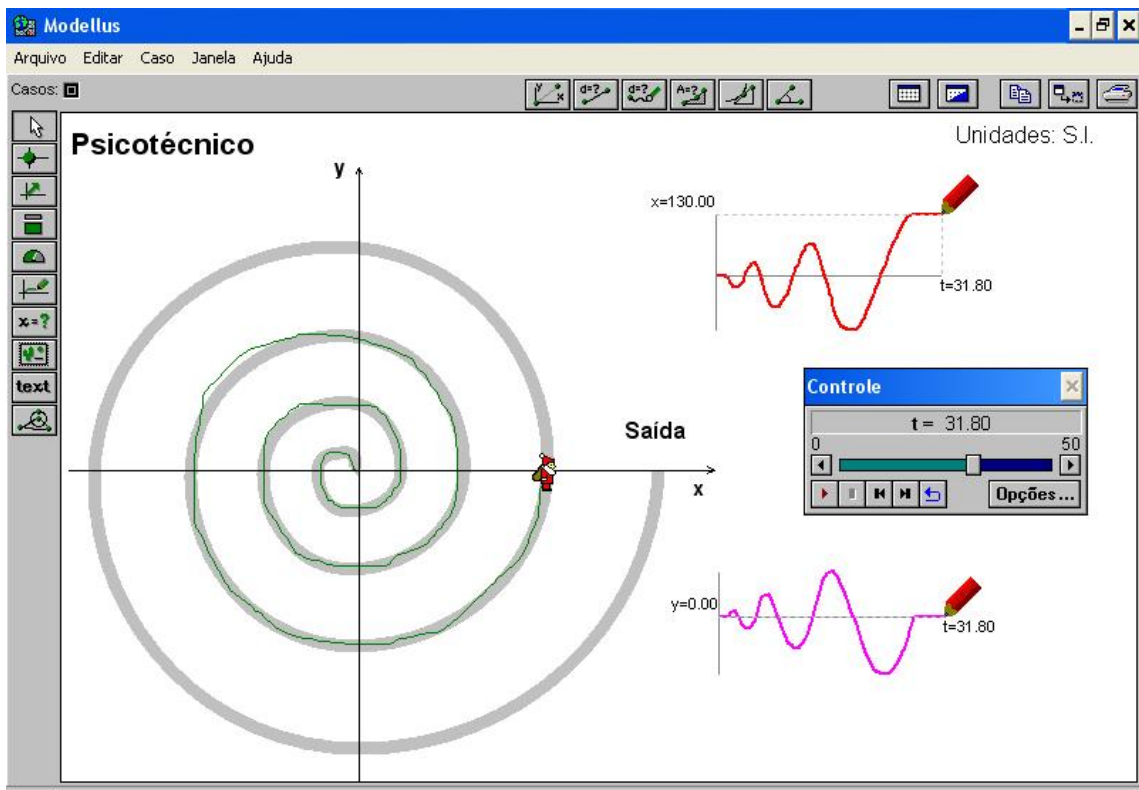


FIGURA C.2 – Tela ilustrativa do modelo Espiral.mdl.

a) Objetivos a serem alcançados:

- Dado um gráfico cinemático qualquer o estudante deverá ser capaz de descrever textualmente o movimento.
- A partir da descrição do movimento o estudante deverá ser capaz de elaborar o(s) gráfico(s) adequado(s).

b) Dificuldades a serem trabalhadas:

- Visão de gráficos como uma fotografia do movimento.
- Confusão entre variáveis cinemáticas.

c) Descrição geral:

No centro da trilha em forma de espiral, há a figura de um papai noel e ao fundo o sistema de referência adotado. Após executar o modelo, o Papai Noel pode ser movido na tela com o *mouse*. Pede-se para que ele seja conduzido até a saída, procurando desviar-se o mínimo possível da trilha. Os gráficos de x versus t e y versus t são traçados de modo simultâneo ao movimento do Papai Noel.

d) Enunciado:

- a) Imagine que o Papai Noel percorre a trilha cinza, mantendo o mesmo valor para o módulo da velocidade. Esboce o gráfico de x versus t e y versus t .
- b) Execute o modelo e conduza o Papai Noel para a Saída, movendo-o sobre a trilha cinza.
- c) O gráfico produzido na janela Animação se assemelha ao que você esboçou anteriormente? Como você pode obter um gráfico que reproduza a forma espiral da trilha?
- d) Desproteja¹ o modelo e crie uma nova animação (Janela => Nova animação) que possibilite a visualização da trilha seguida pelo Papai Noel.

3) Mov_h1.mdl

a) Objetivos a serem alcançados:

- Dado o gráfico da posição versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a velocidade.
- Dado um gráfico cinemático qualquer o estudante deverá ser capaz de descrever textualmente o movimento.

b) Dificuldades a serem trabalhadas:

- Visão de gráficos como uma fotografia do movimento.
- Confusão entre altura e inclinação.
- Confusão entre variáveis cinemáticas.

¹ Para desproteger o modelo: Arquivo => Senha => m

c) Descrição geral:

Na configuração original, ao executar o modelo o gráfico x versus t é traçado, mas o movimento do carrinho não está visível. Várias questões são propostas ao aluno a respeito da interpretação deste gráfico. Só então, o aluno é convidado a ampliar a janela Animação de modo que possa visualizar o movimento do carrinho, simultaneamente com o traçado do gráfico.

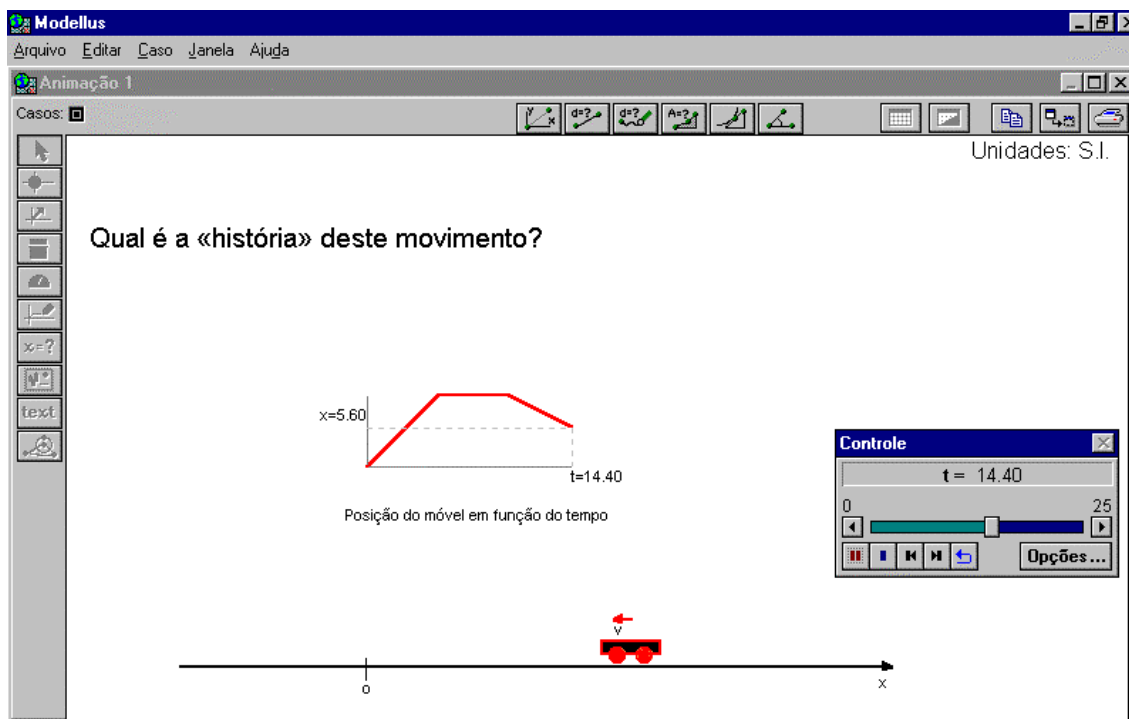


FIGURA C.3 – Tela ilustrativa do modelo Mov_h1.mdl.

d) Enunciado:

- Execute o modelo e observe com atenção as grandezas e o gráfico. Descreva o movimento.
- Como varia a velocidade ao longo do tempo?

Estenda a janela Animação para baixo com o *mouse* para observar o movimento do carrinho.

- Esboce o gráfico da velocidade em função do tempo.
- Desproteja o modelo e crie um gráfico da velocidade versus tempo (Janela => Novo Gráfico). Compare com seu esboço.

4) Noel_bar.mdl

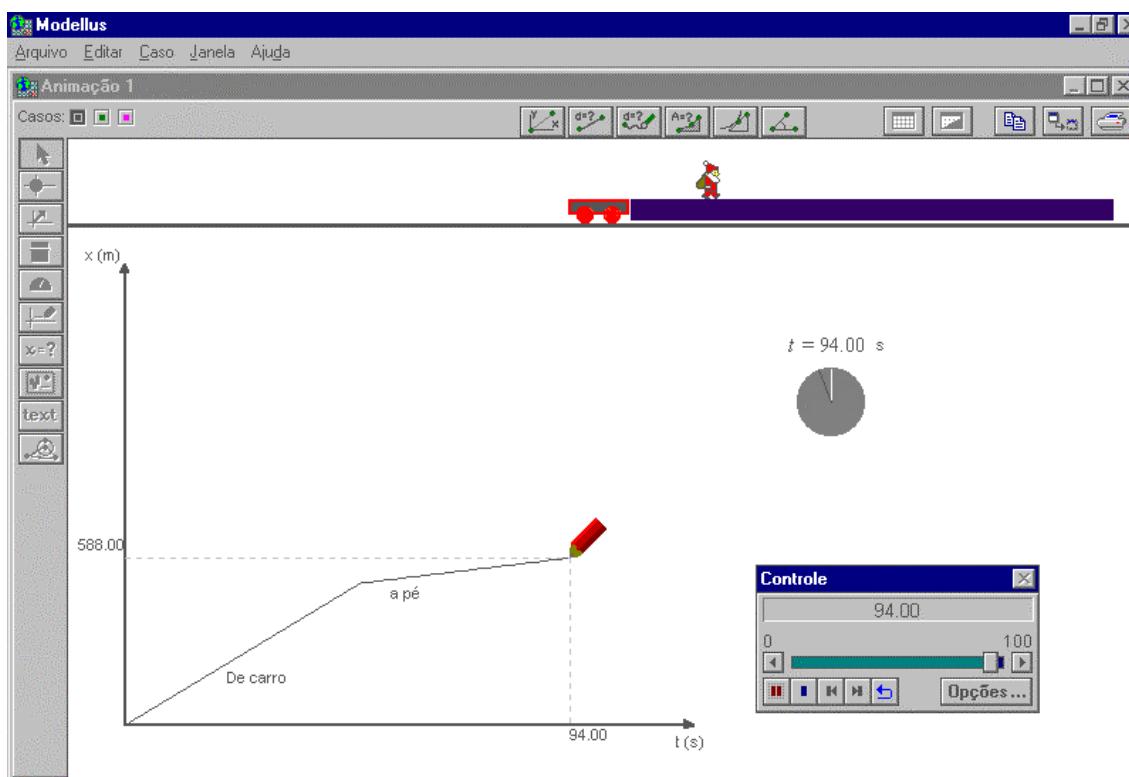


FIGURA C.4 – Tela ilustrativa do modelo Noel_bar.mdl.

a) Objetivos a serem alcançados:

- Dado o gráfico da posição versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a velocidade.
- Dado um gráfico cinemático qualquer o estudante deverá ser capaz de descrever textualmente o movimento.
- A partir da descrição do movimento o estudante deverá ser capaz de elaborar o(s) gráfico(s) adequado(s).

b) Dificuldades a serem trabalhadas:

- Visão de gráficos como uma fotografia do movimento.
- Confusão entre altura e inclinação.
- Confusão entre variáveis cinemáticas.
- Erros quanto à determinação de inclinações de linhas que não passam pela origem.

c) Descrição geral:

Ao executar este modelo o Papai Noel está parado sobre o carrinho que se move da esquerda para direita na tela. O carrinho se choca, então, contra a barra azul horizontal e o Papai Noel segue caminhando sobre esta. O gráfico posição contra tempo do Papai Noel é traçado simultaneamente com o movimento do carrinho. Três casos distintos são propostos: $V_a > V_b$; $V_a = V_b$ e $V_a < V_b$, onde V_a corresponde à velocidade do Papai Noel de carro e V_b a velocidade do Papai Noel a pé.

d) Enunciado:

- a) Execute o modelo e observe com atenção as grandezas e o gráfico. Que tipo de trajetória tem o Papai Noel, quando se move com o carro? E quando está a pé?
- b) Qual a distância percorrida pelo Papai Noel 10 segundos após deixar o carro?
- c) Qual é o valor da velocidade do Papai Noel, quando ele está no carro? E a pé?

Esboce os gráficos de x versus t para o caso em que o Papai Noel:

- d) anda a pé e de carro com a mesma velocidade;
- e) anda a pé com velocidade maior do que de carro.
- f) Na janela **Animação 1** acione os botões verde e rosa (ao lado de “casos:”) e compare os gráficos com os seus esboços.
- g) É possível, apenas observando o gráfico da posição versus tempo, determinar em qual trecho o Papai Noel foi mais veloz? Como?

5) Incl_xt.mdl

a) Objetivos a serem alcançados:

- Dado o gráfico da posição versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a velocidade.
- Dado um gráfico cinemático qualquer o estudante deverá ser capaz de descrever textualmente o movimento.

b) Dificuldades a serem trabalhadas:

- Visão de gráficos como uma fotografia do movimento.
- Confusão entre altura e inclinação.
- Confusão entre variáveis cinemáticas.

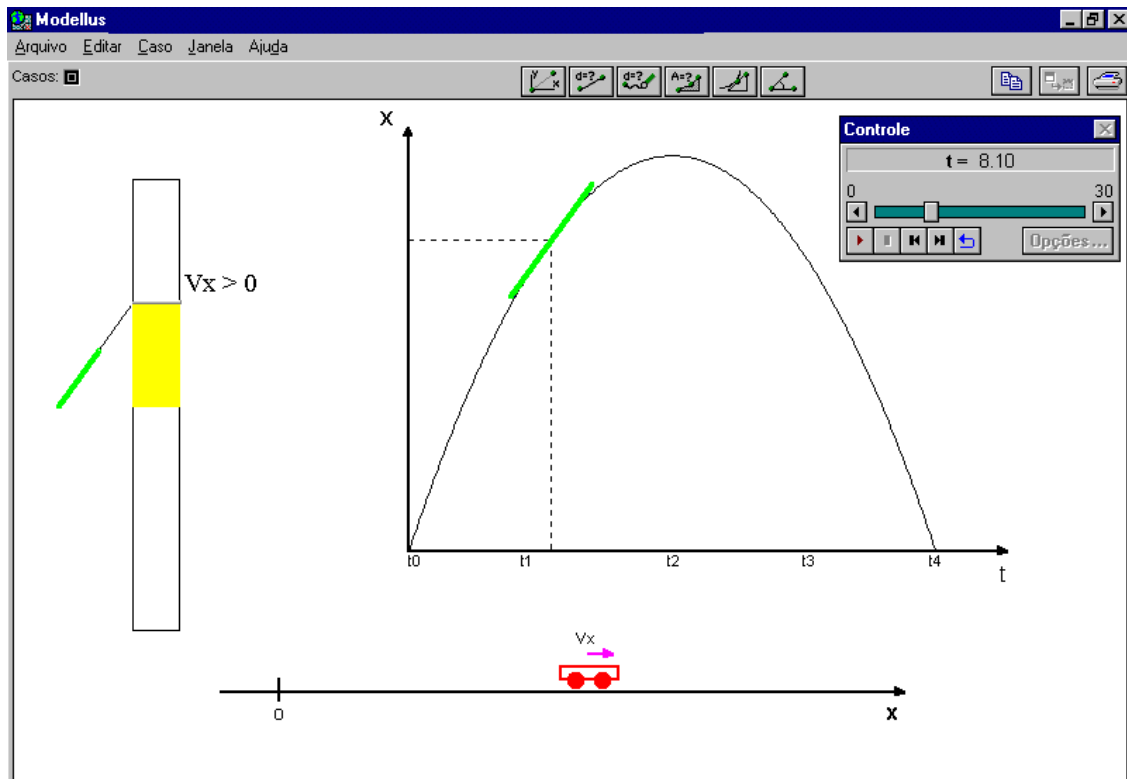


FIGURA C.5 – Tela ilustrativa do modelo Incl_xt.mdl.

c) Descrição geral:

Este é um modelo auto-executável em que se pode visualizar a tangente à curva no gráfico x versus t simultaneamente com o movimento de um carrinho e de uma barra vertical em amarelo. O comprimento desta barra está vinculado qualitativamente ao módulo da velocidade e à inclinação da tangente à curva representada no gráfico posição versus tempo.

d) Enunciado:

A inclinação da reta tangente em um determinado ponto da curva de um gráfico x versus t fornece a velocidade naquele instante. Observe a animação apresentada.

- a) Em qual(is) instante(s) de tempo o módulo da velocidade é máximo?
- b) Em qual(is) instante(s) de tempo a variação da posição com o tempo é máxima?

6) VI_area1.mdl

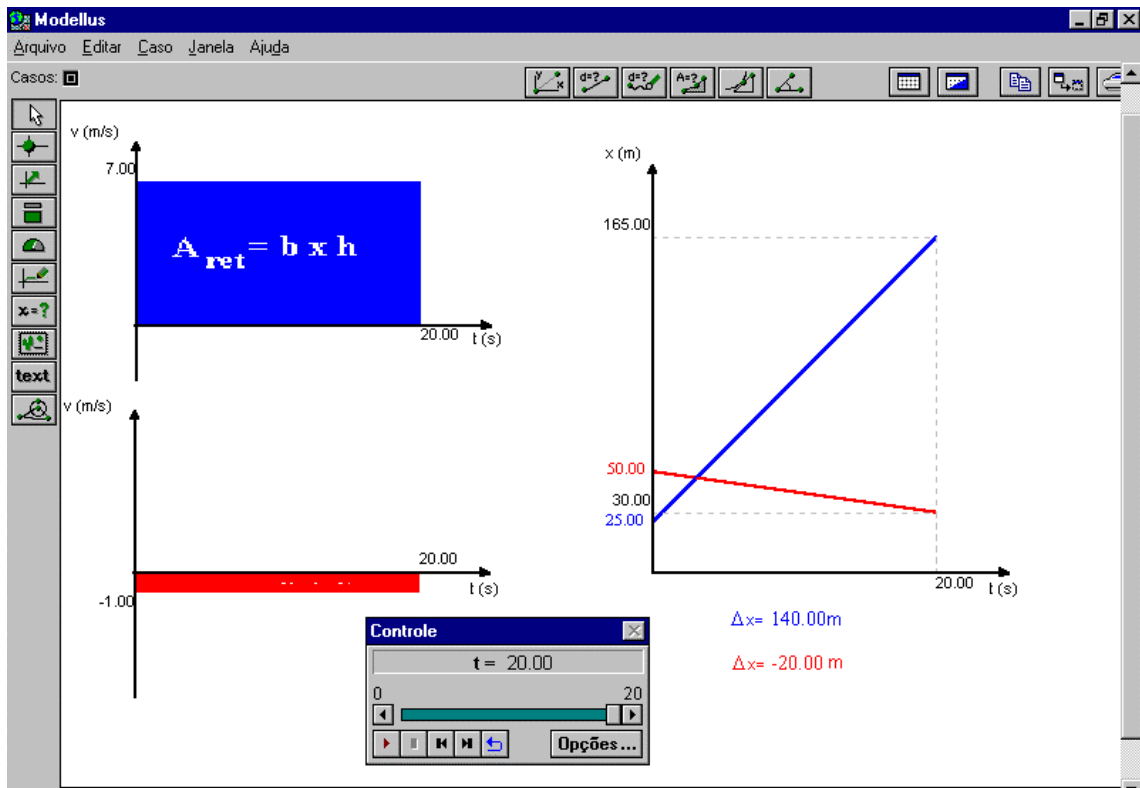


FIGURA C.6 – Tela ilustrativa do modelo VI_area1.mdl.

a) Objetivos a serem alcançados:

- Dado o gráfico da posição versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a velocidade.
- Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a aceleração.
- Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar o deslocamento efetuado pelo móvel.
- Dado um gráfico cinemático o estudante deverá ser capaz de relacioná-lo com outro gráfico correspondente.

b) Dificuldades a serem trabalhadas:

- Confusão entre altura e inclinação.
- Confusão entre variáveis cinemáticas.

- Erros quanto à determinação de inclinações de linhas que não passam pela origem.
- Desconhecimento do significado das áreas no gráfico abaixo das curvas cinemáticas.
- Confusão entre área/inclinação/altura.

c) Descrição geral:

Ao executar este modelo pode-se visualizar: i) o traçado de um gráfico comparativo da posição versus tempo para dois móveis; ii) a área formada sob a curva nos gráficos de velocidade versus tempo relativos a cada um destes móveis e iii) os valores para os deslocamentos dos corpos no intervalo de tempo considerado.

d) Enunciado:

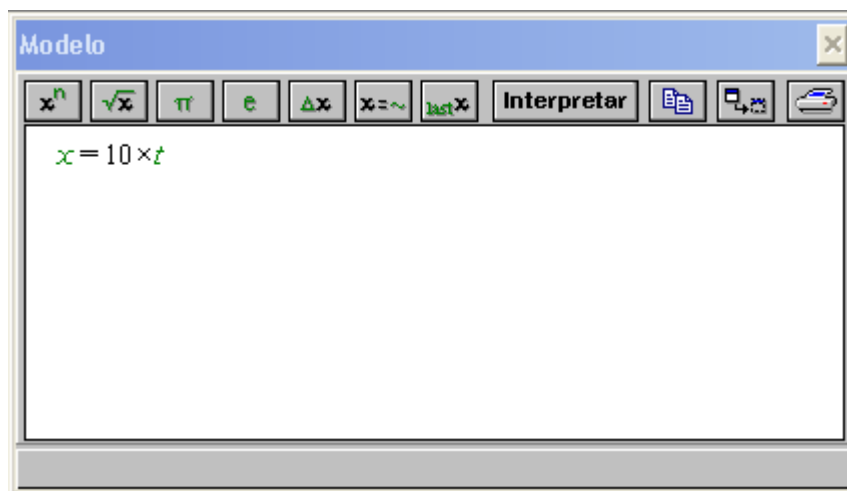
- Execute o modelo e observe com atenção as grandezas e os gráficos. Qual é o valor numérico da área azul e da área vermelha ao final de 20s?
- Qual a relação existente entre a área do gráfico velocidade versus tempo e a posição do corpo?
- Adicione um caso em que os valores da velocidade v_1 e v_2 sejam respectivamente 7 m/s e 3.5 m/s. Compare com o caso anterior. O que acontece com a inclinação das curvas azul e vermelha no gráfico posição versus tempo? O que esta inclinação representa?
- Ajuste os tempos máximos t_{1max} e t_{2max} de modo que as áreas tenham o mesmo valor. Qual a relação existente entre a variação da posição produzida nos dois corpos?

Atividade de Criação – Uma bola que se move¹

Esta experiência tem como objetivo sua familiarização com algumas das principais características do *Modellus*, por exemplo, como se constrói uma simulação simples – a simulação do movimento retilíneo de uma bola (considerada como uma partícula), a partir de uma função matemática que descreve a posição da bola ao longo de um eixo, em função do tempo.

Criar o modelo

- 1) Escreva na janela **Modelo** a seguinte função, em que x é a variável dependente e t é a variável independente (para escreveres o sinal de multiplicação é necessário utilizar o sinal “*” ou a barra de espaço).



- 2) Esta função $x=10 \times t$ nos diz que:

- para $t=0$, $x=10 \times 0 = 0$;
- para $t=1$, $x=10 \times 1 = 10$;
- para $t=2$, $x=10 \times 2 = 20$;
- etc.

Se t representar o *tempo* (em segundos) decorrido desde o início da contagem do tempo e 10 corresponder a 10 metros por segundo (m/s), o valor de x vem sempre em metros (m). Por exemplo:

¹ Extraído de Funções e descrição de movimentos no espaço: uma breve introdução com o *Modellus*; Atividades Interdisciplinares para Matemática e Física do Ensino Secundário. V. D. Teodoro. Publicação interna da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

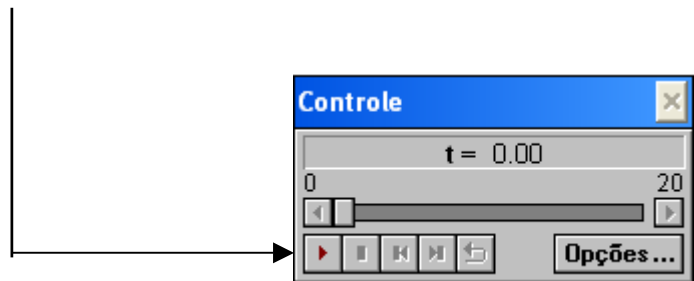
para $t = 1 \text{ s}$, $x = 10 \text{ (m/s)} \times 1 \text{ (s)} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1 \text{ s} = 10 \text{ m}$

Interpretar o modelo

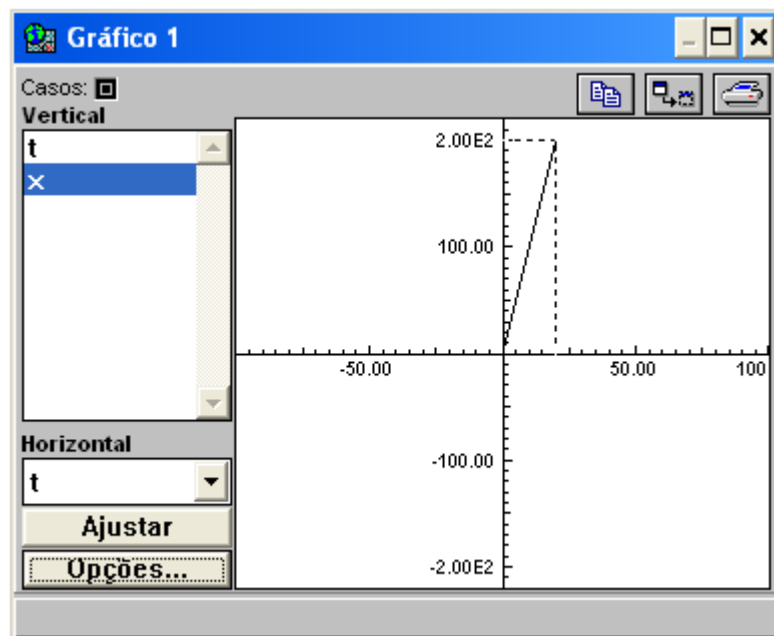
Sempre que se escreve ou altera o modelo, é necessário *clique* no botão **Interpretar** para que o *Modellus* verifique se não há qualquer erro e possa efetuar cálculos.

Criar um gráfico numa janela de gráficos

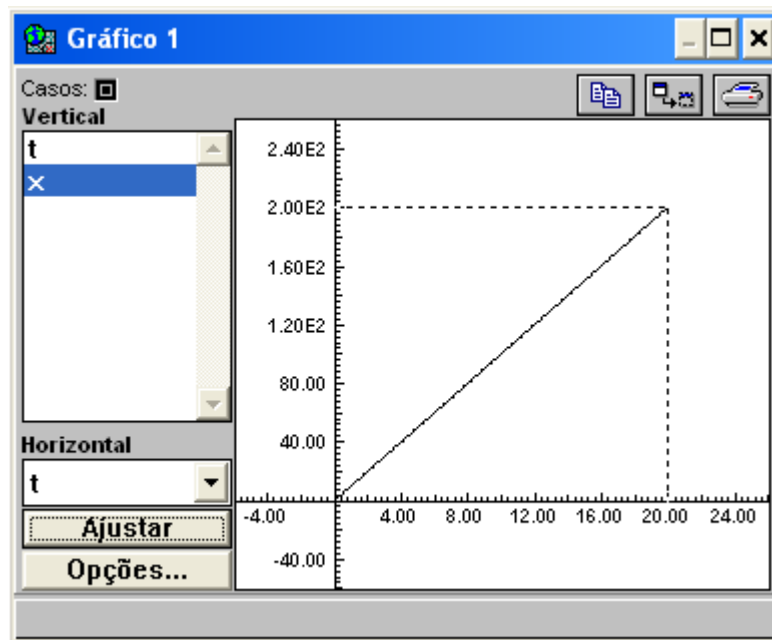
- 1) Vamos agora criar um gráfico numa janela. Selecione no menu **Janelas** a opção **Novo Gráfico**.
- 2) Execute o modelo, no botão *começar* da janela **Controle**.



- 3) Obteremos um gráfico como o seguinte:



- 4) Para ajustar o gráfico, clique no botão Ajustar:



- 5) A escala dos eixos pode ser modificada. Por exemplo, clique no botão **Opções** da janela **Gráfico** e altere os valores mínimos e máximos de x e y :

The 'Opções' dialog box has a 'Limites:' section with the following values:

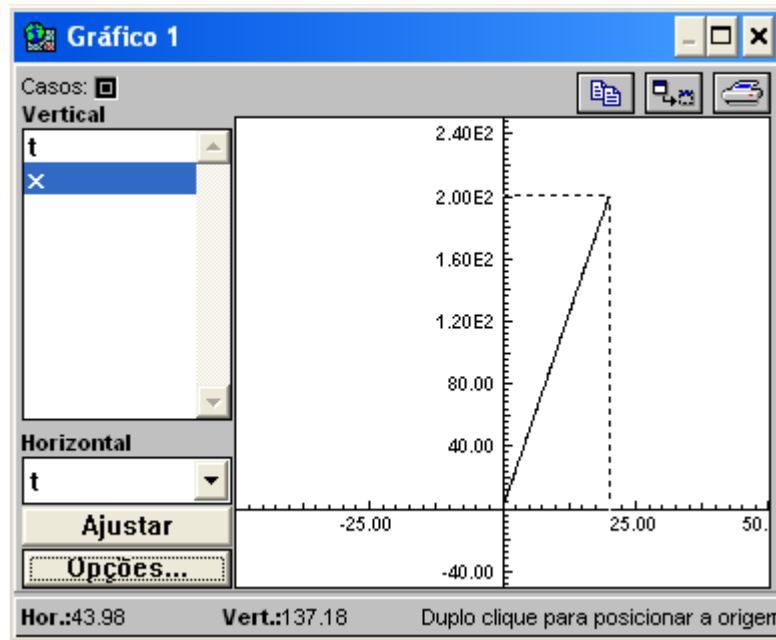
Axis	Mín	Máx
HORIZONTAL	-50	50
VERTICAL	-50	250

Below the limits section are the following options:

- Escala Automática
- Linhas de Chamada
- Tangentes (Quando se repete)
- Escalas Iguais
- Pontos

Buttons: OK, Cancelar

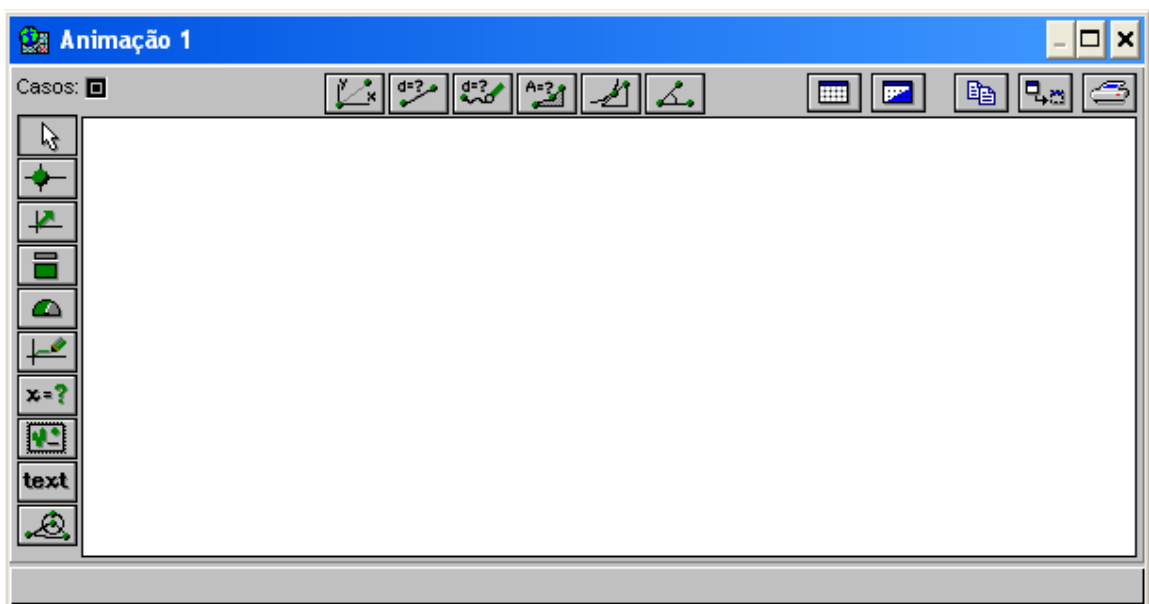
6) Obteremos, então, um gráfico como o seguinte:




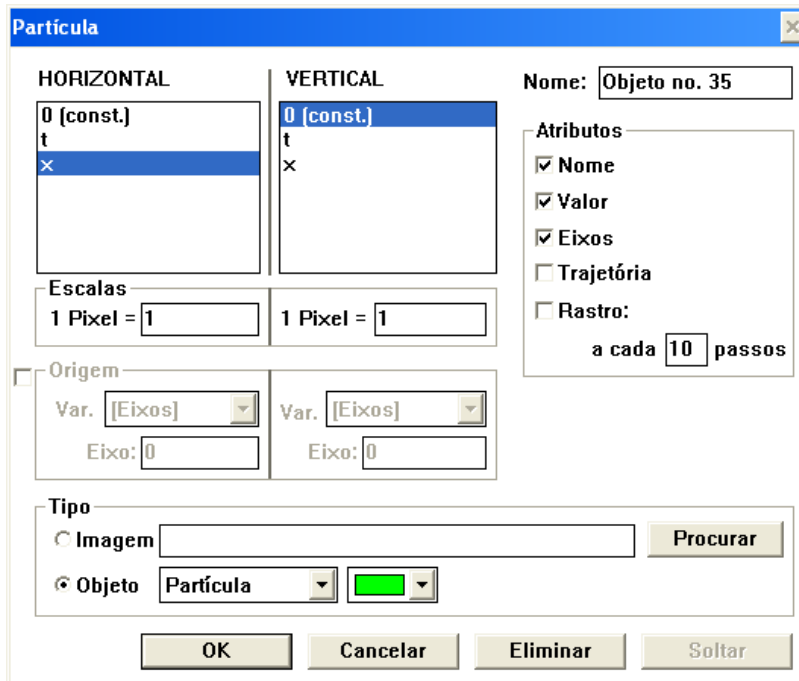
Criar uma animação do modelo

Representaremos agora um objeto se movendo. Para isso:

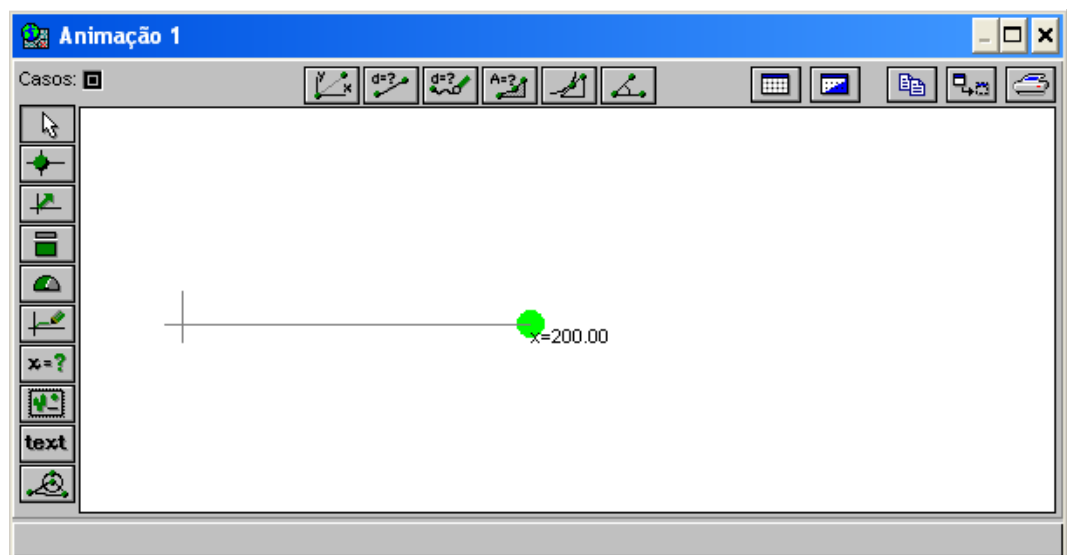
- 1) Escolha no menu **Janelas** a opção **Nova Animação**. Obteremos uma janela como a seguinte:



- 2) Selecione o primeiro botão do lado superior esquerdo da janela, . Clique em algum lugar do espaço destinado a animação, na janela **Animação 1**. Surgirá então a seguinte caixa de diálogo, solicitando informação sobre como a partícula deve se mover e o que será visto na tela:



- 3) Observe esta caixa de diálogo. Selecione a variável x na lista de variáveis para a opção Horizontal (isso indica que a coordenada horizontal do objeto vai ser calculada utilizando os valores de x). Clique em OK.
- 4) Clique no botão *começar*, na janela **Controle**, e observe como varia a posição da partícula. (Uma bola pode ser considerada uma partícula).



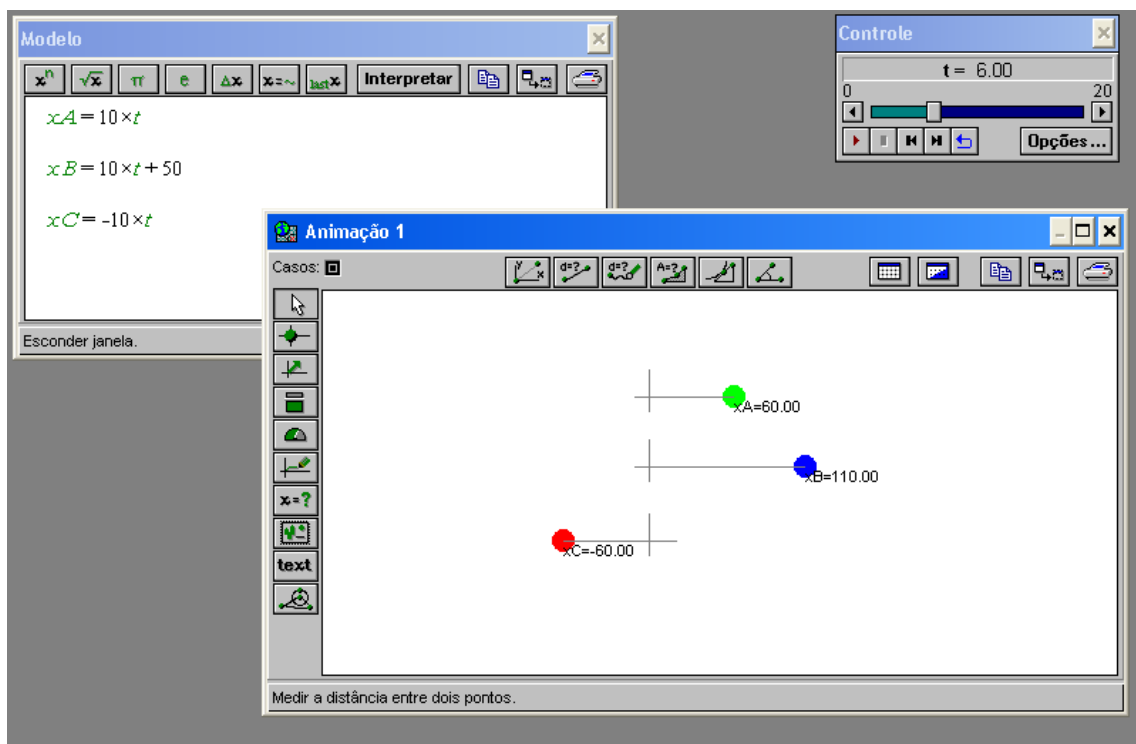
- 5) Se a partícula sair da parte visível da janela, redimensione a janela de modo a ficar visível todo o percurso ou mude a posição da origem.

Experimente

- 1) Altere a função para $x = 5 \times t$. Observe a animação.
- 2) Altere a função para $x = -5 \times t$. Observe a animação. Se necessário, modifique a posição onde a partícula se encontra, deslocando-a com o botão esquerdo do “*mouse*” para outro lado.
- 3) Altere a função para $x = 2 \times t$. Observe a animação.
- 4) Utilize o menu **Janelas** para criar um gráfico (opção **Novo Gráfico**). Observe o gráfico de x em função de t para as várias funções.
- 5) Altere a função para $x = 10 \times t + 20$. Observe a animação e explique o que acontece. Observe um gráfico de x em função de t .
- 6) Altere a função para $x = 10 \times t - 20$. Observe a animação e explique o que acontece. Observe um gráfico de x em função de t .
- 7) Altere a função para $x = -10 \times t - 20$. Observe a animação e explique o que acontece. Observe um gráfico de x em função de t .

Uma sugestão útil...

Uma forma simples de comparar vários movimentos consiste em designar a abscissa dos diferentes objetos por nomes diferentes (note que os nomes das variáveis têm de começar por uma letra e só podem utilizar letras, números ou o caractere «underscore», «_».) A figura seguinte mostra um exemplo em que se estuda o movimento de três partículas diferentes:



Aula 2 - Atividades Exploratórias

1) Mov_h2.mdl

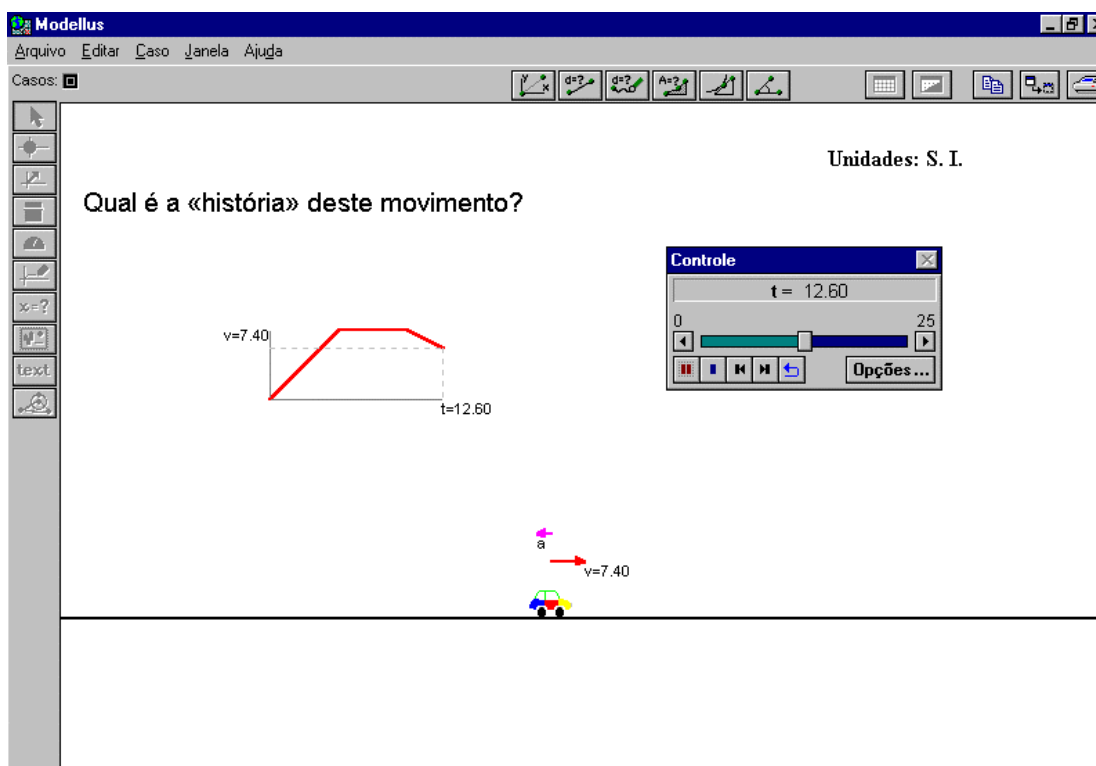


FIGURA C.7 – Tela ilustrativa do modelo Mov_h2.mdl.

a) Objetivos a serem alcançados:

- Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a aceleração.
- Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar o deslocamento efetuado pelo móvel.
- Dado o gráfico da aceleração versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a variação na velocidade do móvel.

- Dado um gráfico cinemático o estudante deverá ser capaz de relacioná-lo com outro gráfico correspondente.

b) Dificuldades a serem trabalhadas:

- Visão de gráficos como uma fotografia do movimento.
- Confusão entre variáveis cinemáticas.

c) Descrição geral:

Na configuração original, ao executar o modelo o gráfico v versus t é traçado, mas o movimento do carrinho não está visível. Várias questões são propostas ao aluno a respeito da interpretação deste gráfico. Só então, o aluno é convidado a ampliar a janela Animação de modo que possa visualizar o movimento do carrinho, simultaneamente com o traçado do gráfico.

d) Enunciado:

- a) Execute o modelo e observe com atenção as grandezas e o gráfico. Descreva o movimento.
- b) Esboce o gráfico da aceleração em função do tempo.
- c) Desproteja¹ o modelo e crie um gráfico da aceleração versus tempo (Janela => Novo Gráfico). Compare com seu esboço.
- d) Crie um gráfico da posição versus tempo. Clique no botão Opções da janela Gráfico 1 e marque “Tangentes (quando se repete)”. Repita o modelo e descreva o que se passa.

2) Areas.mdl

a) Objetivos a serem alcançados:

- Dado o gráfico da posição versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a velocidade.
- Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a aceleração.

¹ Para desproteger o modelo: Arquivo => Senha => m

- Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar o deslocamento efetuado pelo móvel.
- Dado o gráfico da aceleração versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a variação na velocidade do móvel.
- Dado um gráfico cinemático o estudante deverá ser capaz de relacioná-lo com outro gráfico correspondente.

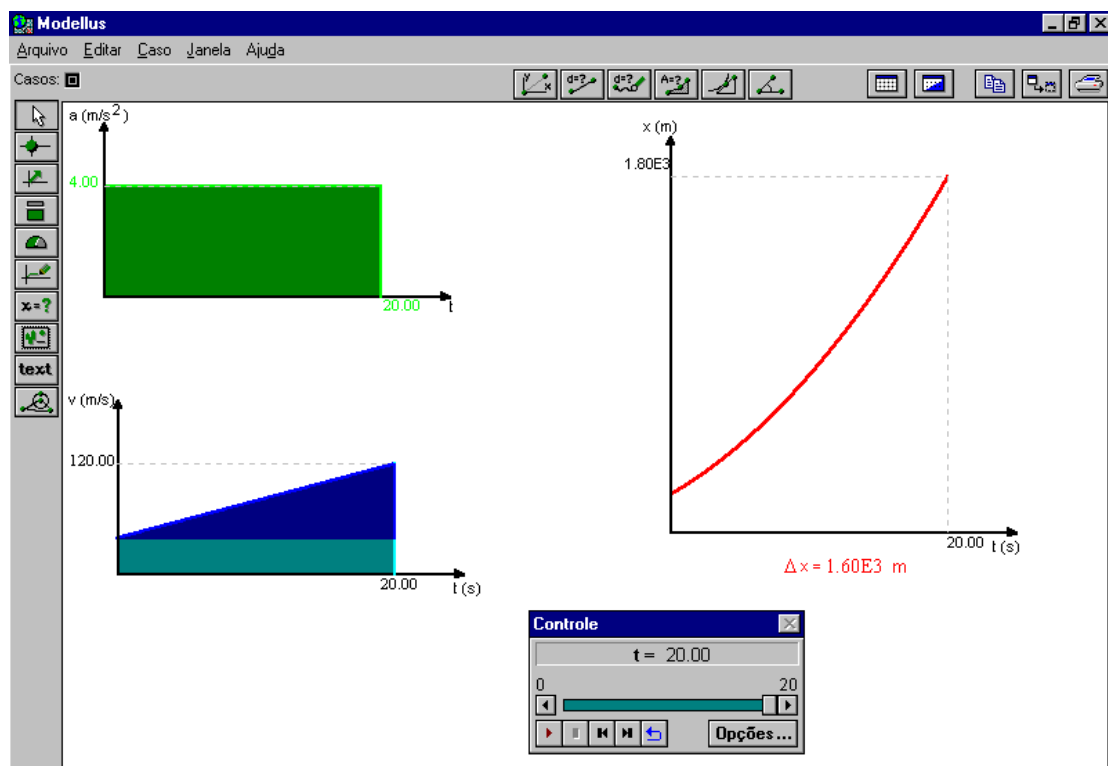


FIGURA C.8 – Tela ilustrativa do modelo Areas.mdl.

b) Dificuldades a serem trabalhadas:

- Confusão entre altura e inclinação.
- Confusão entre variáveis cinemáticas.
- Erros quanto à determinação de inclinações de linhas que não passam pela origem.
- Desconhecimento do significado das áreas no gráfico abaixo das curvas cinemáticas.
- Confusão entre área/inclinação/altura.

c) Descrição geral:

Ao executar este modelo pode-se visualizar: i) o traçado do gráfico da posição versus tempo para um móvel; ii) acompanhar a área formada sob a curva nos gráficos de velocidade versus tempo e aceleração versus tempo relativos ao seu movimento e iii) o módulo do deslocamento do corpo para o intervalo de tempo.

d) Enunciado:

- a) Execute o modelo e observe qual é a relação existente entre a área do gráfico aceleração versus tempo e a velocidade do corpo.
- b) Adicione um caso em que o valor da aceleração seja 3.5 m/s^2 . O que acontece com a inclinação da curva azul no gráfico velocidade versus tempo? O que esta inclinação representa?
- c) Adicione outro caso em que o valor da aceleração seja de -2 m/s^2 e $V_0 = 80 \text{ m/s}$. O que acontece com a inclinação da curva azul no gráfico velocidade versus tempo? Qual a relação existente entre a área compreendida entre a curva azul e o eixo do tempo e a posição do corpo?

3) Acelera.mdl

a) Objetivos a serem alcançados:

- Dado o gráfico da posição versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a velocidade.
- Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a aceleração.
- Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar o deslocamento efetuado pelo móvel.
- Dado um gráfico cinemático o estudante deverá ser capaz de relacioná-lo com outro gráfico correspondente.
- A partir da descrição do movimento o estudante deverá ser capaz de elaborar o(s) gráfico(s) adequado(s).

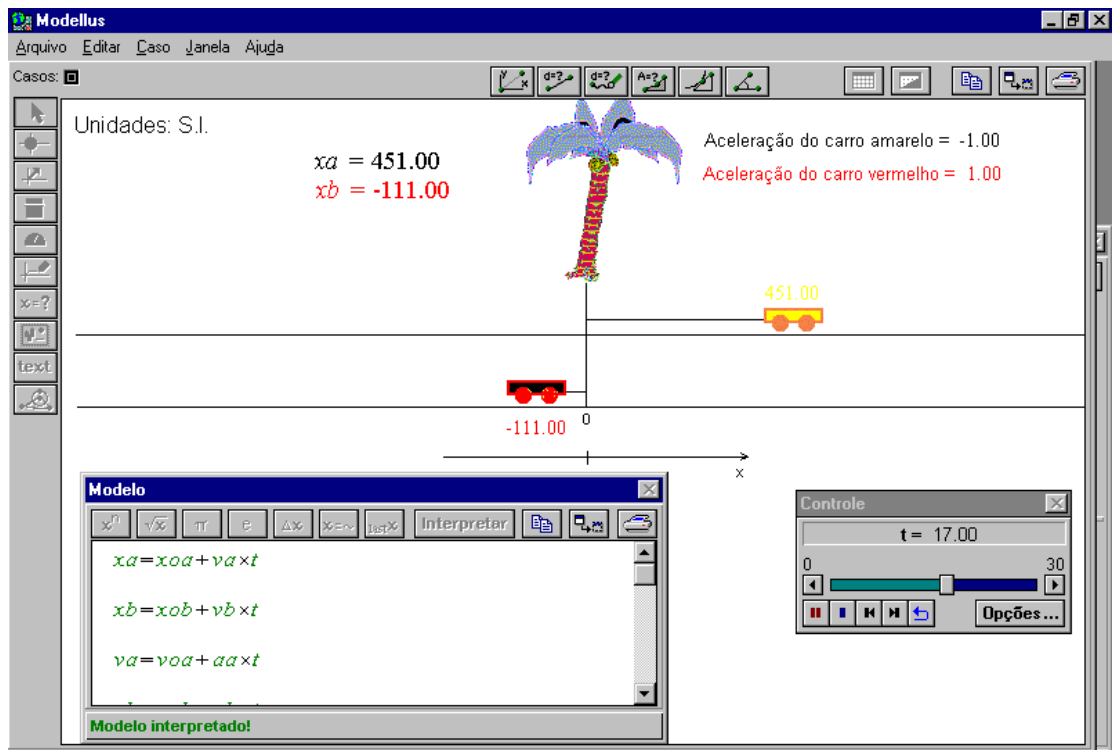


FIGURA C.9 – Tela ilustrativa do modelo Acelera.mdl.

b) Dificuldades a serem trabalhadas:

- Visão de gráficos como uma fotografia do movimento.
- Confusão entre variáveis cinemáticas.
- Erros quanto à determinação de inclinações de linhas que não passam pela origem.

c) Descrição geral:

Ao se executar o modelo pode-se observar o movimento de dois carrinhos em relação a um sistema de referência (a palmeira). Pede-se que o estudante esboce, com lápis e papel, os gráficos cinemáticos para os movimentos e, em seguida, crie estes mesmos gráficos no Modellus, permitindo a comparação dos resultados. Os valores de posição e aceleração para ambos os carrinhos são mostrados na tela.

c) Enunciado:

Esboce os seguintes gráficos comparativos:

- a) aceleração versus tempo para ambos os carrinhos;
- b) velocidade versus tempo para ambos os carrinhos;
- c) posição versus tempo para ambos os carrinhos;

Crie no *Modellus* (Janela => Novo gráfico) os seguintes gráficos:

- d) posição versus tempo para os dois móveis;
- e) velocidade versus tempo para os dois móveis;
- f) Adicione um caso em que os móveis estejam inicialmente em repouso, separados por uma distância d , e em seguida movem-se com uma mesma aceleração para a direita. O que se pode prever para a curva $v \times t$ destes dois móveis? Confira sua resposta no gráfico.

Aula 3 - Atividades Exploratórias

1) Ac_incl.mdl

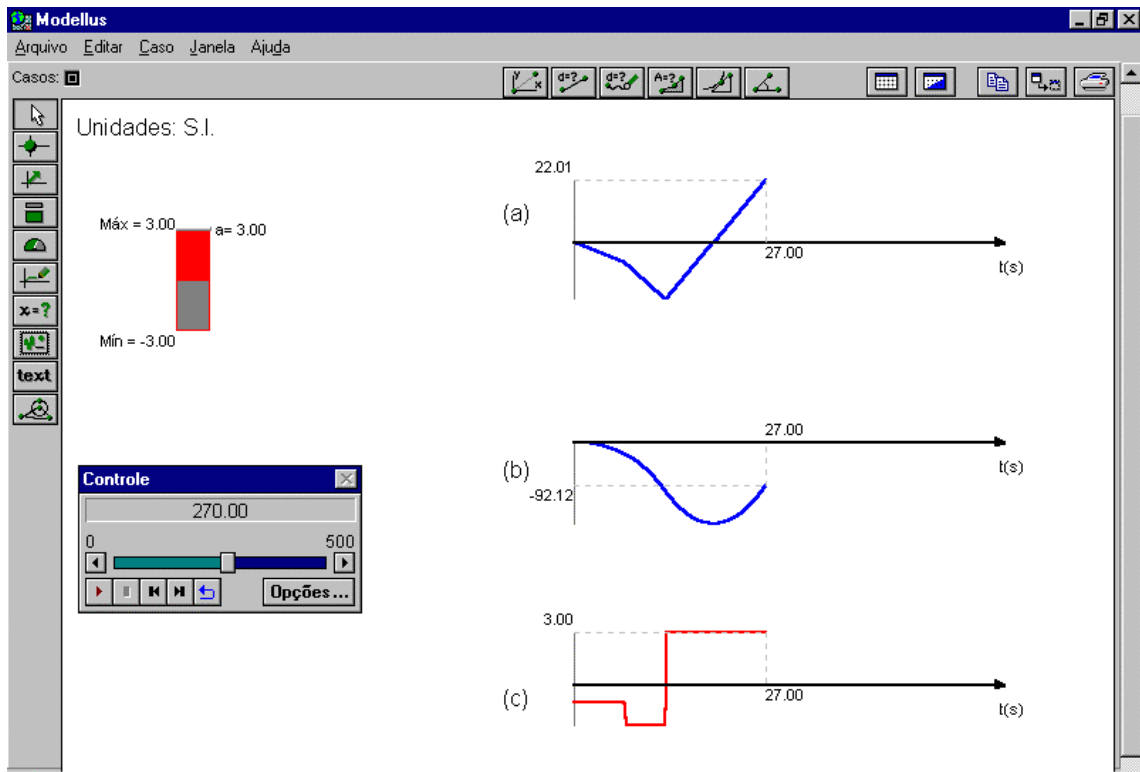


FIGURA C.10 – Tela ilustrativa do modelo Ac_incl.mdl.

a) Objetivos a serem alcançados:

- Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a aceleração.
- Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a aceleração.
- Dado um gráfico cinemático qualquer o estudante deverá ser capaz de descrever textualmente o movimento.

b) Dificuldades a serem trabalhadas:

- Confusão entre altura e inclinação.
- Confusão entre variáveis cinemáticas.

c) Descrição geral:

Ao executar este modelo o aluno pode mover com o *mouse* uma barra vertical em vermelho associada ao módulo da aceleração de um determinado móvel; os gráficos cinemáticos do movimento produzido são mostrados simultaneamente.

d) Enunciado:

Um objeto está na origem do sistema de coordenadas com velocidade nula e aceleração de -1 m/s^2 no sentido positivo do eixo. Varie na barra vertical sua aceleração e **identifique** qual é o correspondente gráfico para a posição, velocidade e aceleração em função do tempo.

Em particular, procure produzir semi-retas nos gráficos:

- a) velocidade versus tempo;
- b) posição versus tempo;
- c) uma variação de velocidade positiva;
- d) uma variação de velocidade negativa;
- e) uma variação de velocidade nula.
- f) Que conclusões você extrai de suas tentativas ?

2) Quant.mdl

a) Objetivos a serem alcançados:

- Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a aceleração.
- Dado o gráfico da velocidade versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar o deslocamento efetuado pelo móvel.
- Dado o gráfico da aceleração versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a variação na velocidade do móvel.
- Dado um gráfico cinemático qualquer o estudante deverá ser capaz de descrever textualmente o movimento.

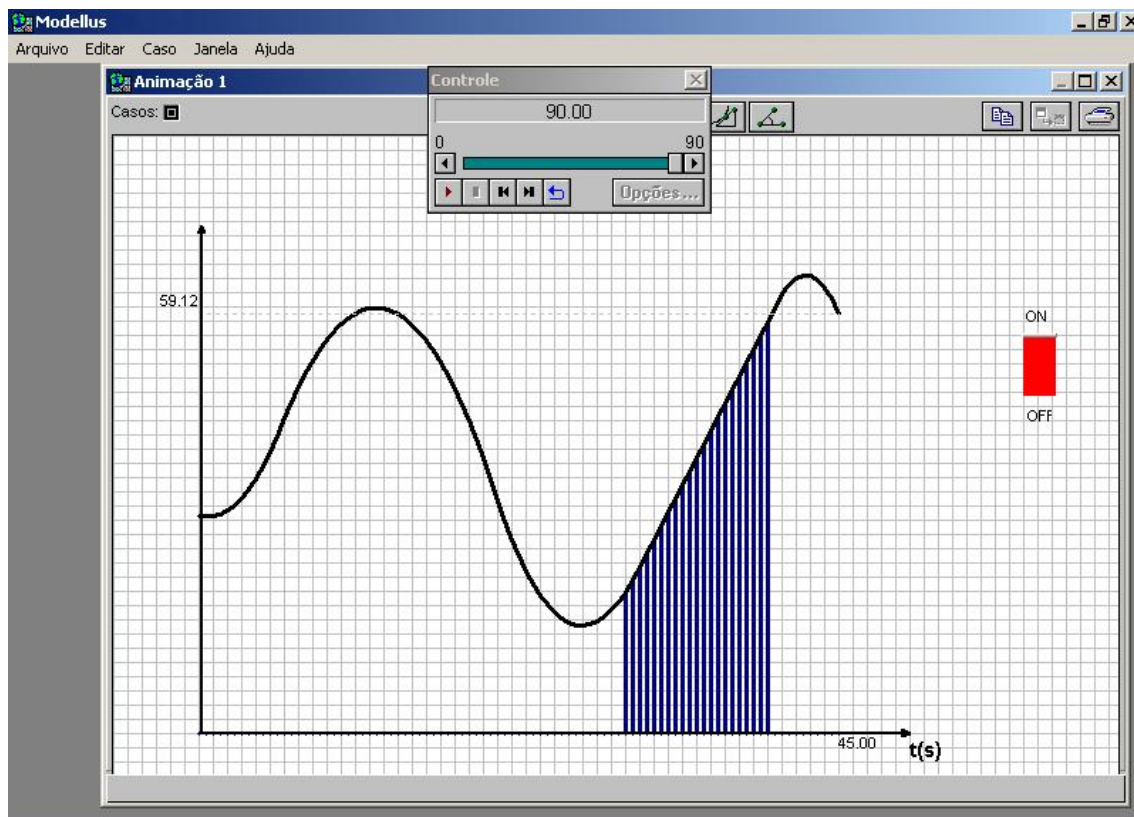


FIGURA C.11 – Tela ilustrativa do modelo Quant.mdl.

b) Dificuldades a serem trabalhadas:

- Confusão entre altura e inclinação.
- Confusão entre variáveis cinemáticas.
- Erros quanto à determinação de inclinações de linhas que não passam pela origem.
- Desconhecimento do significado das áreas no gráfico abaixo das curvas cinemáticas.
- Confusão entre área/inclinação/altura.

c) Descrição geral:

Na configuração original, ao executar o modelo o estudante pode observar o traçado da curva em preto mostrada no gráfico cinemático. Várias questões são propostas ao aluno a respeito da interpretação deste gráfico. Só então, o aluno é convidado a ampliar a janela Animação de modo que possa visualizar uma “chave ON-OFF” que na posição “ON” mostra hachurada a região sob a curva entre os instantes 30 s e 40 s. Esta região é relevante para responder algumas das questões propostas.

d) Enunciado:

- g) Se o gráfico representa a velocidade (em cm/s) versus tempo (em s) para um determinado móvel, determine a aceleração em $t = 36$ s.
- h) Se o gráfico representa a aceleração (em cm/s^2) versus tempo (em s) para um determinado móvel, obtenha a variação de velocidade entre o instante $t_1 = 30$ s e $t_2 = 40$ s.)? (Dica: estenda a janela para a direita, execute o modelo e coloque a barra na posição “ON”)
- i) Um outro objeto é submetido à aceleração constante de 55 cm/s^2 no intervalo entre $t_1 = 30$ s e $t_2 = 40$ s. A maior variação na velocidade será produzida no móvel do item b) ou c) ?

2) Revesam.mdl

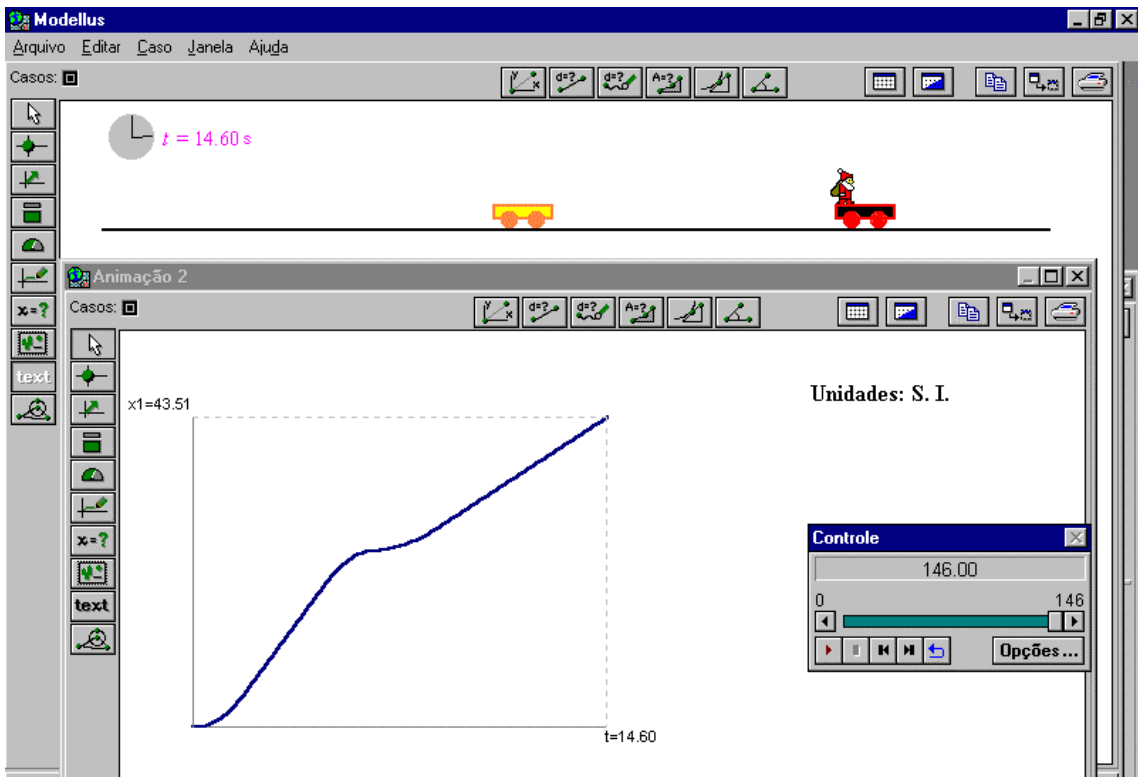


FIGURA C.12 – Tela ilustrativa do modelo Revesam.mdl.

a) Objetivos a serem alcançados:

- Dado o gráfico da posição versus tempo o estudante deverá ser capaz de determinar a velocidade.
- Dado um gráfico cinemático qualquer o estudante deverá ser capaz de descrever textualmente o movimento.

b) Dificuldades a serem trabalhadas:

- Visão de gráficos como uma fotografia do movimento.
- Confusão entre variáveis cinemáticas.

c) Descrição geral:

Na configuração original, ao executar o modelo o gráfico da posição versus tempo é traçado, mas o Papai Noel e os dois carrinhos permanecem parados. Várias questões são propostas ao aluno a respeito da interpretação deste gráfico. Só então, o aluno é convidado a ativar a animação de modo que possa visualizar, simultaneamente com o traçado do gráfico, o Papai Noel andar com o carrinho amarelo até o carrinho vermelho, trocar de carrinho e, finalmente, percorrer o restante do trajeto com o carrinho vermelho.

d) Enunciado:

Observe o gráfico (a animação está inicialmente desabilitada) da posição versus tempo para um Papai Noel que se move sobre um carro amarelo e depois sobre um carro vermelho.

- a) A partir do gráfico posição versus tempo descreva detalhadamente o movimento do Papai Noel.
- b) Estime quanto tempo o Papai Noel se move com velocidade constante no carro amarelo? E no carro vermelho?
- c) Arbitre o valor 1 para a variável “on” nas condições iniciais e execute o modelo. Compare com a sua descrição do movimento.

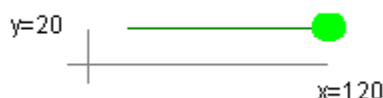
Atividades de Criação - Equações Paramétricas dos Movimentos¹

O seguinte modelo mostra como se pode traçar um segmento de reta entre os pontos de coordenadas (20, 20) e (120, 20):

$$y = 20$$

$$x = 20 + 5 \times t$$

Criando uma animação de uma bola (tratada aqui como uma partícula) que se move de acordo com estas equações, obtém-se, na janela **Animação**:



onde assinalou-se **Trajetória** na janela de propriedades bola verde.

Em termos físicos, este modelo corresponde a um movimento com velocidade constante, de módulo 5 unidades, segundo uma direção paralela ao eixo dos xx , e dirigida no sentido positivo de Ox , a partir do ponto de coordenadas $x = 20$ e $y = 20$, durante 20 unidades de tempo. As equações paramétricas utilizadas neste modelo são de grau 1.

Vejamos o que acontece se utilizarmos uma equação paramétrica de grau 2.

Um movimento acelerado numa direção paralela ao eixo dos xx

Escreva o seguinte modelo:

$$y = 20$$

$$x = 20 + 0.5 \times t^2$$

Crie uma animação semelhante à anterior. Após a execução do modelo teremos:

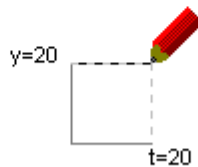
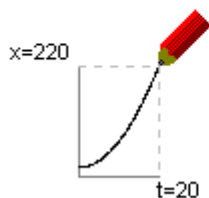


¹ Extraído de Funções e descrição de movimentos no espaço: uma breve introdução com o *Modellus*; Atividades Interdisciplinares para Matemática e Física do Ensino Secundário. V. D. Teodoro. Publicação interna da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Observando o movimento com atenção, podemos verificar que a bola vai cada vez mais depressa. Para visualizar esse aumento de rapidez, pode-se fazer um clique no campo **Rastro** na janela de propriedades da partícula:



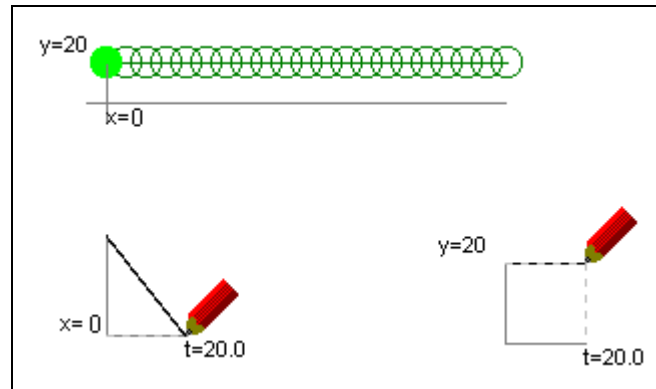
É muito importante não confundir a trajetória da bola com os gráficos das equações paramétricas. Na figura seguinte, estão representados esses gráficos, numa escala adequada (construa esta animação):



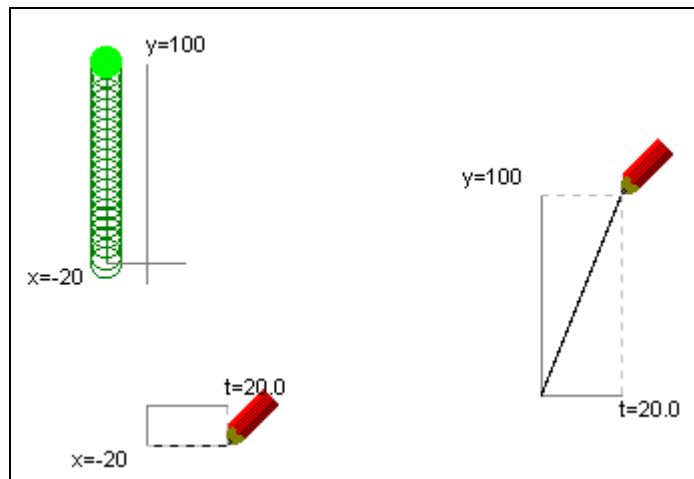
Experimente

Construa modelos que permitam obter as seguintes animações (em alguns casos é necessário *estimar* alguns valores...):

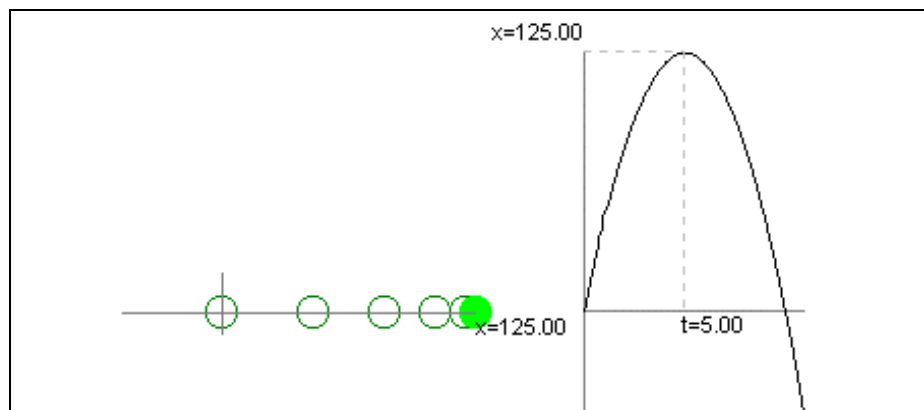
1)



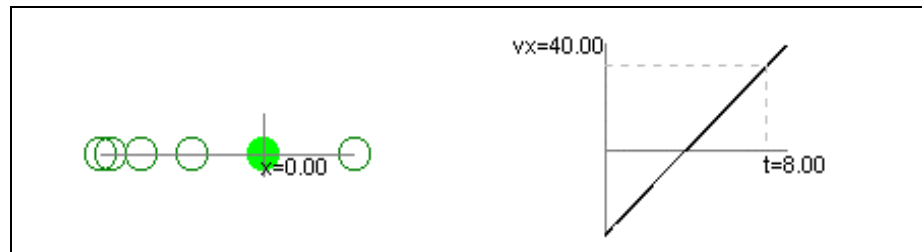
2)



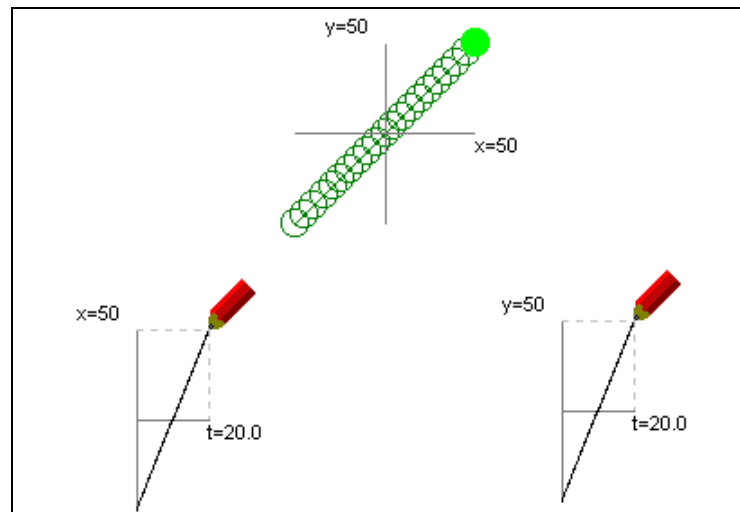
3)



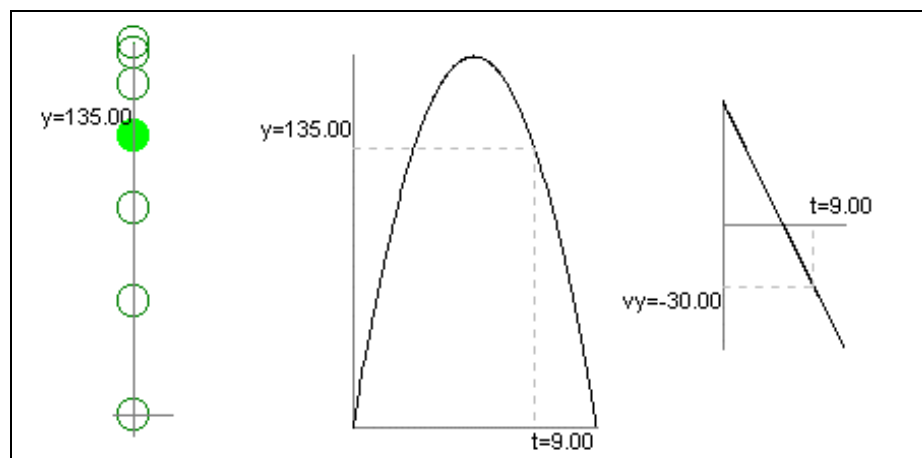
4)



5)

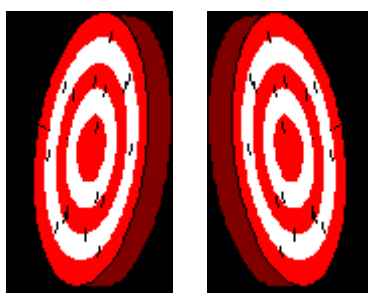
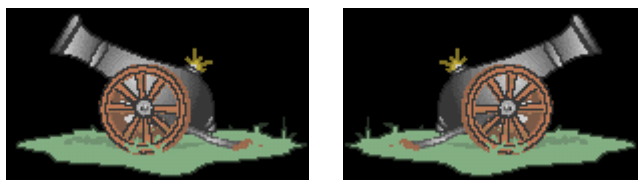


6)



Atividades de Criação – Movimento de Projéteis

- 1) Você dispõe das seguintes figuras de canhão (canhao30_d.bmp, canhao30_e.bmp, canhao45_d.bmp, canhao45_e.bmp, canhao_Hd.bmp) e de alvo (alvo.bmp e alvo_inv.bmp):



Escolha um canhão e um alvo e coloque-os em dois pontos distantes um do outro na janela Animação. Admitindo² $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ faça a animação da bala do canhão (use uma **partícula** como projétil) até atingir o alvo.

² Aqui separamos a parte inteira da parte decimal do número por um ponto, embora não seja o correto em português, porque esta é a forma adotada no *software* Modellus.

- 2) Dispondo da figura abaixo (chafariz.gif), crie uma partícula e faça com que ela reproduza a trajetória do jato d'água.



Observações Gerais:

- Os enunciados das atividades também podem ser encontrados na Janela **Notas** de cada modelo.
- A senha para todos os Modelos protegidos é a letra “m”.

APÊNDICE D

Roteiro da entrevista semi-estruturada

- 1) O que você achou do *Modellus*?
- 2) O que você achou do curso?
- 3) O curso serviu aos seus propósitos? (Você acha que conseguiu aprender interpretação de gráficos da cinemática?)
- 4) Na sua opinião, um dos tipos de atividades (exploratória ou de criação) foi mais facilitadora em termos de aprendizagem? Por que?
- 5) Faltou algo no curso? O que poderia ser feito para melhorá-lo?
- 6) Você recomendaria este curso aos seus colegas?
- 7) Você acha que este curso deve ser oferecido para outras turmas em outras oportunidades?
- 8) Você acha que o *Modellus* deveria ser incorporado rotineiramente nas disciplinas de Física?

REFERÊNCIAS

- AGRELLO, D. A.; GARG, R. Compreensão de gráficos de cinemática em física introdutória. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 103-115, mar. 1999.
- ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Estudo de gráficos da cinemática com o Modellus. In: TEODORO, V. D. Oficina sobre modelagem computacional no ensino de física e matemática com Modellus. Organização: Rejane M. Ribeiro Teixeira, Eliane A. Veit. Porto Alegre, Instituto de Física - UFRGS, 2002a. 1 CD-ROM.
- ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Estudo de Gráficos da Cinemática com o Modellus. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/material/graficos_cinematica.zip>. Acesso em: 31 ago. 2002b.
- AUSUBEL, D. P. et al. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. 216 p.
- AUSUBEL, D. P. **Adquisición y retención del conocimiento: una perspectiva cognitiva**. Barcelona: Paidós, 2002. 328 p.
- BEICHNER, R. J. The effect of simultaneous motion presentation and graph generation in a kinematics lab. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 27, n. 8, p. 803-815, Nov. 1990.
- BEICHNER, R. J. Testing student interpretation of kinematics graphs. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 62, n. 8, p. 750-768, Aug. 1994.
- BEICHNER, R. J. The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skills. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 64, n. 10, p. 1272-1277, Oct. 1996.
- BRASSEL, H. The effect of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 24, n. 4, p. 385-395, Apr. 1987.
- CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J. C. Experimental and quasi-experimental designs for research on teaching. In: GAGE, N. L. (Org.). **Handbook of research in teaching**. Chicago: Rand McNally, 1963. p.171-246.
- FINN, J. D. Analysis of variance and covariance. In: KEEVES, J. P. (Org.). **Educational research, methodology, and measurement: an international handbook**. Cambridge: Pergamon, 1997.
- GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. **Science Education**, New York, v. 86, n. 1, p. 106-121, Jan. 2002.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Além da detecção de modelos mentais dos estudantes uma proposta representacional integradora. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 07, n. 1, mar. 2002. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a2.html>. Acesso em: 22 out. 2002.

HALLOUN, I. Schematic modeling for meaningful learning of physics. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 33, n. 9, p. 1019-1041, Nov. 1996.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental models**: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

McDERMOTT, L. C.; ROSENQUIST, M. L.; van ZEE, E. H. Student difficulties in connecting graphs and physics: examples from kinematics. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 55, n. 6, p. 503-513, June 1987.

MOREIRA, M. A.; SILVEIRA, F. L. da. **Instrumentos de pesquisa em ensino e aprendizagem**: a entrevista clínica e a validação de testes de papel e lápis. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1993. 101 p.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica Universitária, 1999. 195 p.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 07, n. 1, mar. 2002. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a1.html>. Acesso em: 22 out. 2002.

MURPHY, L. D. Graphing misinterpretations and microcomputer-based laboratory instruction, with emphasis on kinematics, 1999. Disponível em: <<http://www.mste.uiuc.edu/murphy/Papers/GraphInterpPaper.html>>. Acesso em: 20 jun. 2002.

MOKROS, J. R.; TINKER, R. F. The impact of microcomputer-based labs on children's ability to interpret graphs. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 24, n. 4, p. 369-383, Apr. 1987.

SANTOS, A. C. K. dos; CHO, Y.; ARAUJO, I. S.; GONÇALVES, G. P. Algumas possibilidades de utilização dos princípios de sistemas de Forrester em tópicos de física, através da ferramenta de modelagem quantitativa STELLA. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 16, p. 81-95, abr. 2000.

TEODORO, V. D.; VIEIRA, J. P.; CLÉRIGO, F. C. **Modellus, interactive modelling with mathematics**. San Diego: Knowledge Revolution, 1997.

TEODORO, V. D. From formulae to conceptual experiments: interactive modelling in the physical sciences and in mathematics. In: INTERNATIONAL CoLos CONFERENCE NEW NETWORK-BASED MEDIA IN EDUCATION, 1998, Maribor, Slovenia. p. 13-22.

TESTA, I.; MONROY, G.; SASSI, E. Students' reading images in kinematics: the case of real-time graphs. **International Journal of Science Education**, London, v. 24, n. 3, p. 235-256, Mar. 2002.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no ensino/aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 87-96, jun. 2002.