

**Uma Proposta de Arquitetura
para Ambientes de Aprendizado
Baseados em Simulação**

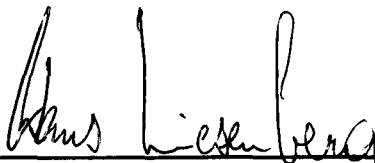
Daniel Weller

Tese defendida e aprovada em, 11 de 08 de 1995

Pela Banca Examinadora composta pelos Profs. Drs.



Prof(a). Dr(a). AFIRA VIANNA RIPPER



Prof(a). Dr(a). HANS KURT EDMUND LIESENBERG

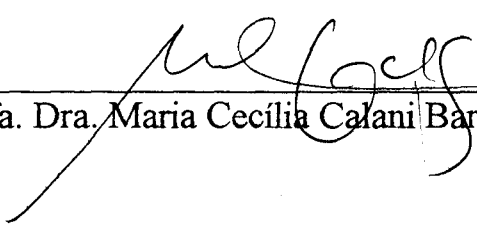


Prof(a). Dr(a). MARIA CECÍLIA CALANI BARANAUSKAS

Uma Proposta de Arquitetura para Ambientes de Aprendizado Baseados em Simulação

Este exemplar corresponde a redação final da tese devidamente corrigida e defendida pelo Sr. Daniel Weller e aprovada pela Comissão Julgadora.

Campinas, 18 de Agosto de 1995.



Prof. Dra. Maria Cecília Calani Baranauskas

Dissertação apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, UNICAMP, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

FICHA CATALOGRAFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO IMECC DA UNICAMP

Weller, Daniel

W458p Uma proposta de arquitetura para ambientes de aprendizado baseados em simulacao / Daniel Weller. -- Campinas, [SP : s.n.], 1995.

Orientador : Maria Cecilia Calani Baranauskas
Dissertacao (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Matematica, Estatistica e Ciencia da Computacao.

1. Computadores - Estudo e ensino. 2. Interacao homem-computador. 3. Simulacao (Computador). I. Baranauskas, Maria Cecilia Calani. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Matematica, Estatistica e Ciencia da Computacao. III. Titulo.

Uma Proposta de Arquitetura para Ambientes de Aprendizado Baseados em Simulação¹

Daniel Weller

Departamento de Ciência da Computação
IMECC - UNICAMP

Banca Examinadora:

- Dra. Maria Cecília Calani Baranauskas² (Orientadora)
- Dra. Afira Ripper³
- Dr. Hans K. E. Liesenberg⁴
- Dra. Heloisa Vieira da Rocha⁵

¹ Dissertação apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação da UNICAMP, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

² Professora do Departamento de Ciência da Computação-IMECC-UNICAMP

³ Professora do Departamento de Psicologia Educacional-FE-UNICAMP

⁴ Professor do Departamento de Ciência da Computação-IMECC-UNICAMP

⁵ Professora do Departamento de Ciência da Computação-IMECC-UNICAMP

Agradecimentos

À minha Mirja, amiga de visões distintas, companheira de todos os dias, namorada de séculos, filha exigente, mãe responsável e esposa adorável, receba meu muito obrigado.

Aos meus Pais que tanto amor e carinho me transmitiram.

Aos amigos presentes e também aqueles ausentes, perdidos na poeira do tempo, que fazem da vida uma bonita música.

Aos dois Luizes, que de forma fantástica cuidam da minha cabeça.

Ao pessoal dos Cavalos (Nico, Chicão, Renato, Quinze-dezenove, Mané, Tenente, Tercília e garotos) que sempre mostram um outro lado da vida.

Ao saudoso Claudinho Rós de Carvalho, ao Armando Fortuna, à Helô, ao Hans, à Ariadne, ao Cadão e à Cláudia e ao amigo com coroa de Rei e do sorriso fácil, que tanto faz falta, Luis Carlos Rosa. A todos vocês obrigado, pela ajuda em ingressar no programa de Mestrado do DCC.

Aos meus meninos Corintianos Roger e Elaine pela força que propocionaram, em uma fase tão importante de meu trabalho.

Ao pessoal querido do NIED-UNICAMP (Bette, Ciça, Dalva, Dinalva, Dri, Edson, Érica, Fábio, Gustavo, João, Leo, Manuel, Nanda, Naur, Vivi e D. Yolanda) com os quais interagi profissionalmente e compartilhei momentos alegres e descontraídos, colaborando em tornar o trabalho mais divertido.

Ao apoio financeiro do CNPq e da FAPESP que possibilitaram este trabalho.

À Cecília Baranauskas, pela orientação, apoio, profissionalismo e pela responsabilidade sem limite.

Pra Jogar no Oceano (Paulinho da Viola)

Eh, Marujo, eh!
Que vive navegando
Te dou meu sofrimento
pra jogar no oceano
Se der no teu navio
leva mais um desengano

Leva de vez a saudade
E apaga a lembrança do que se perdeu
Ficando comigo a chama da vida
eu canto a esperança que nunca morreu
Sei qual a minha sentença
O vento é quem tira a poeira de tudo
A gente lamenta e depois reconhece
que o amor não acaba nas dores do mundo

Leva marujo, a tristeza
e parte o punhal que a inveja lançou
ele contém o veneno
que pode matar meu desejo de amor
Tira as setas do ciúme
que foram jogadas no meu coração
Pois o meu ideal se resume
em ter meu destino na palma da mão

Jorge de Capadócia (Caetano Veloso)

Jorge sentou praça na cavalaria
eu estou feliz porque eu sou também da sua companhia
eu estou vestido com as roupas e as armas de Jorge
Para que meus inimigos tenham pés e não me alcancem
Para que meus inimigos tenham mãos e não me toquem
Para que meus inimigos tenham olhos e não me vejam
e nem mesmo pensamentos que eles possam ter para me fazer mau
Armas de fogo o meu corpo não alcançarão
Facas e espadas se quebrem sem o meu corpo tocar
Cordas e correntes arrebentem sem o meu corpo amarrar
Pois eu estou vestido com as armas e as roupas de Jorge
Jorge é de Capadócia
Salve Jorge, Salve Jorge...

Resumo

Arquiteturas de sistemas baseados em simulação variam entre dois extremos de um espectro, onde temos desde sistemas exploratórios abertos a sistemas instrucionais (tutores). No primeiro extremo, a exploração não estruturada pode levar o usuário a se sentir "perdido" na interação com o sistema. No segundo extremo, a abordagem diretiva pode levar o usuário a se sentir "tolhido" na liberdade de explorar elementos de seu interesse no sistema. Uma tarefa crítica no *design* de ambientes baseados em simulação é como encontrar um equilíbrio entre "instrução" e "liberdade", para o usuário do sistema. Apesar dos desenvolvimentos recentes e do número de simulações computacionais usadas no contexto educacional, existe muito pouco na literatura a respeito de como fornecer suporte a usuários em ambientes exploratórios. Nossa proposta de trabalho objetiva contribuir nessa direção, abordando a problemática envolvida no *design* de aplicações baseadas em simulação, no contexto dos processos de ensino/aprendizado. Mais especificamente, estamos propondo uma arquitetura para ambientes de aprendizado baseados em simulação, dentro da abordagem exploratória não diretiva. A exemplificação de tal arquitetura foi feita através do desenvolvimento de um protótipo de sistema, no domínio da Física relacionado aos conceitos de movimento.

Abstract

Simulation-based learning environments usually have an embedded architecture which varies from open exploratory systems to instructional systems (tutors). At the first extreme of the spectrum, the system exploration, usually not structured, can lead the user to feel "lost" during the interaction. In the second extreme, the directive approach can lead the user to feel limited in the opportunity to explore freely the elements of his/her interest in the system. According to our view, a critical task in the design of learning environments based on simulation, is how to find equilibrium between "freedom" and "instruction" for the user of the system. This thesis addresses itself to some problems involved in the design of simulation-based learning environments. We are proposing an architecture for a simulation-based system which considers a non-directive exploratory approach. A prototype for the proposed architecture developed for the domain of the physics of motion is illustrated.

Conteúdo

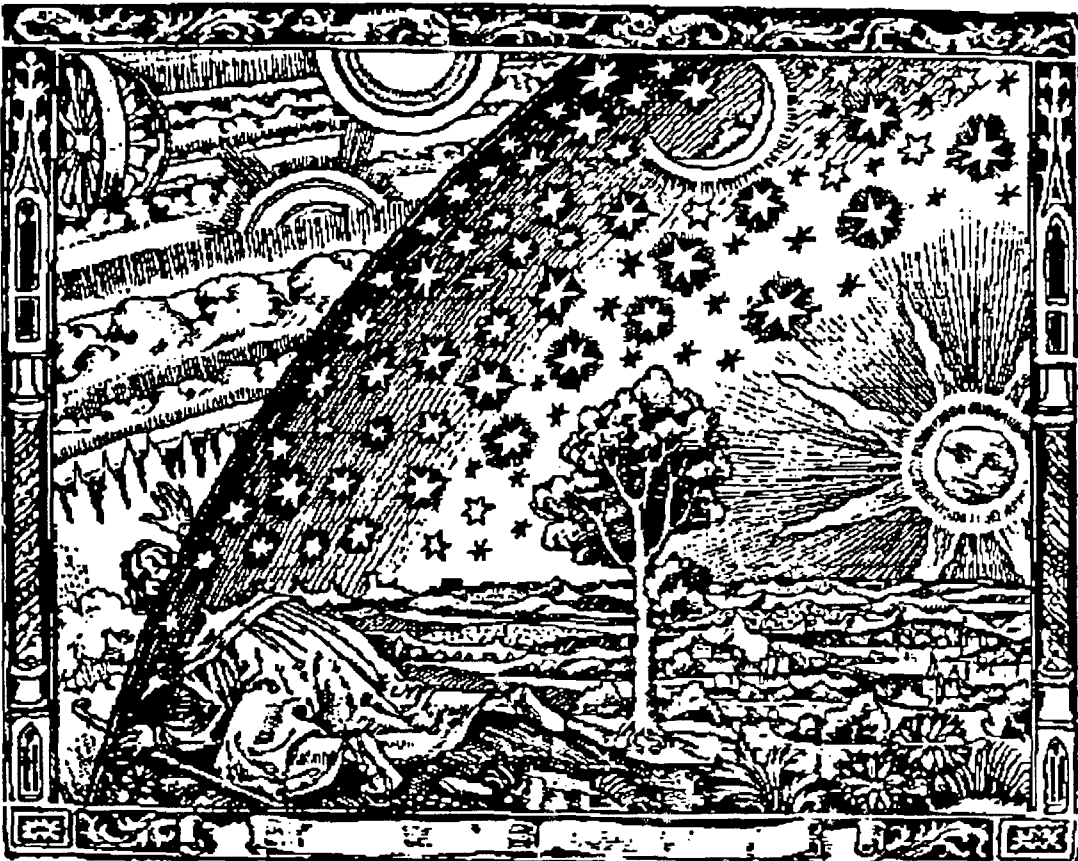
Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
1 Introdução	1
2 O Estado-da-Arte	7
2.1. O Computador nos Processos de Ensino/Aprendizado.....	8
2.2. Simulação Computacional.....	15
2.3. Interfaces Homem-Computador.....	22
3 Objetivos e Metodologia	26
4 Uma Proposta de Arquitetura para o “Fazer Ciência”	29
4.1. O “Fazer Ciência”.....	30
4.2. Ambientes de Aprendizado Baseados em Simulação.....	34
4.2.1. O Espectro dos Ambientes Baseados em Simulação.....	34
4.2.2. Descrição dos Extremos do Espectro.....	36
4.2.3. Discussão.....	39
4.3. Uma Proposta para Ambientes Baseados em Simulação.....	40
5 Galileu: Um Protótipo para a Arquitetura Proposta	43
5.1. Descrição Funcional da Aplicação.....	44
5.1.1. Descrição Geral do Protótipo.....	44
5.1.2. Descrição da Estrutura Básica.....	50
5.1.3. Descrição das Ações dos Elementos de Suporte.....	56
5.2. Aspectos de Implementação do Protótipo.....	62
5.2.1. O Ambiente de Implementação.....	62
5.2.2. A Estrutura de Implementação.....	65
6 Estudo Piloto	70
6.1. Análise da Interação Usuário-Sistema.....	73
7 Conclusões e Perspectivas	80
Referências	85
Anexos	98

Lista de Figuras

4.1: Fazendo Ciência.....	33
4.2: O Espectro dos Ambientes.....	35
4.3: Arquitetura dos Sistemas Exploratórios Abertos.....	38
4.4: Arquitetura dos Sistemas Tutoriais.....	38
4.5: A Arquitetura Proposta.....	42
5.1: Exemplificação da Arquitetura Proposta.....	46
5.2: Cenário do Plano Inclinado, com os elementos de suporte.....	48
5.3: Os Agentes e seus ícones.....	48
5.4: O Usuário no Laboratório.....	50
5.5: Apresentação dos Agentes.....	51
5.6: O Usuário com Cientista.....	52
5.7: Construir ou Escolher Cenários.....	52
5.8: Tela Básica para as Quatro Tarefas de Piaget.....	53
5.9: Tela Básica para os Cenários a Construir.....	54
5.10: Estrutura Básica do Protótipo.....	55
5.11: Os Elementos de Suporte e seus Papéis.....	56
5.12: O Narrador e o Cenário do Plano Inclinado.....	57
5.13: O Questionador e o cenário do plano inclinado.....	58
5.14: O Construtor e o cenário do plano inclinado.....	59
5.15: Entrada e Manipulação dos Dados.....	59
5.16: Gráficos do Movimento.....	60
5.17: Fotos do Movimento.....	61
5.18: Objetos do <i>HyperCard</i>	63
5.19: Hierarquia da Passagem dos Eventos.....	64
5.20: A Descrição e seus Símbolos.....	65
5.21: Estrutura Básica de Implementação.....	66
5.22: Descrição da Classe Cenários.....	67
5.23: Descrição da Classe Agentes.....	68
5.24: Descrição da Classe Representações.....	69
5.25: Descrição da Classe Entrada de Dados.....	69
6.1: Cientistas e “Fazer Ciência”.....	78
7.1: Esboço de uma possível aplicação para ensino de Física.....	84

CAPÍTULO 1

Introdução



O Mundo ao nosso redor nos lembra a todo instante do fato de nos encontrarmos inseridos num acelerado e dinâmico processo de transformação. Neste processo, conjuntamente com outras áreas do conhecimento, a informática tem um papel fundamental e colabora para impulsionar a sociedade para novas perspectivas. Em realidade, como afirma Schaff (1985), vivemos uma segunda revolução técnico-industrial, a partir das novas técnicas de manipulação, aquisição e transmissão de informações que os computadores, fruto dos avanços tecnológicos de nossos tempos, propiciam ao gênero Humano ampliando e potencializando as capacidades intelectuais do Homem.

O trabalho aqui proposto, num nível macroscópico, trata da utilização de tecnologias avançadas no *design* de sistemas computacionais para uso no contexto dos processos de ensino/aprendizado. Mais especificamente, objetivamos investigar e propor ambientes computacionais baseados em simulação, que procurem incentivar os estudantes a se manterem ativamente envolvidos na atividade de aprendizado.

A simulação computacional, tópico central de nosso trabalho, tem sido aplicada em muitos contextos, como por exemplo, em pesquisa e nas áreas industrial e empresarial. Há muito tempo que a simulação é utilizada nestes contextos, principalmente quando a experimentação de um determinado sistema A não é desejável ou possível. Nesta situação constrói-se um segundo sistema A' , chamado modelo de A , construído por meio de abstrações e com menor grau de complexidade em relação ao sistema real, com o qual realiza-se o experimento. Neste trabalho, como em Pagano (1992), estamos chamando de simulação, a atividade de experimentar com o modelo A' para se obter conhecimento sobre A .

No contexto dos processos de ensino/aprendizado, o uso de simulação vai além da sua utilização simplificada como técnica para substituir o ambiente experimental do laboratório para ensino. Vários resultados encontrados na literatura, (Pagano 1992, Millar 1991, Dekkers 1981, de Jong 1991, Syllabus 1993), indicam que a utilização de modelagem e simulação, em situações de aprendizado, pode ter efeitos profundos na transformação das estruturas cognitivas dos estudantes.

O uso de simulação no contexto educacional tem sido defendido com uma série de argumentos dentre os quais o mais importante, talvez, seja a forma de interação de seus usuários no ambiente. Em linhas gerais, a utilização de simulação em ambientes computacionais favorece o engajamento dos aprendizes em atividades de exploração e de descoberta (de Jong, 1991). Estas atividades, construídas a partir da interação com a simulação, proporcionam situações nas quais o aprendiz pode desempenhar um papel ativo na interação, por exemplo pela construção e teste de suas próprias hipóteses sobre o fenômeno modelado.

Os ambientes computacionais para ensino/aprendizado baseados em simulação, em relação aos quadros teóricos subjacentes às diferentes arquiteturas, podem ser localizados entre dois extremos de um espectro. Nestes extremos, situamos os ambientes exploratórios abertos e os sistemas instrucionais do tipo tutor. Dessa forma, entre esses dois ambientes estariam os diversos sistemas baseados em simulação, que podem ser classificados conforme seu posicionamento no espectro. Entretanto, conforme Yazdani (1987), tanto os ambientes exploratórios abertos quanto os sistemas instrucionais têm as suas problemáticas. Enquanto no primeiro extremo o ambiente é desprovido de qualquer espécie de suporte à simulação, favorecendo situações de sub-utilização do sistema, no segundo extremo o sistema projetado de forma diretiva, não proporciona ao aprendiz a liberdade na exploração dos elementos de seu interesse, pois o controle não está em suas mãos.

Dessa forma, diante deste quadro, fica claro que uma das questões críticas no *design* de ambientes baseados em simulação é encontrar o equilíbrio entre “instrução” e “liberdade”, através do grau de controle permitido ao usuário e ao sistema. Nosso desafio consiste em elaborar uma arquitetura para ambientes baseados em simulação que busque uma situação de equilíbrio.

Em linhas gerais, nossa proposta envolve o *design* de uma arquitetura para ambientes computacionais baseados em simulação, que valorize novos elementos tanto em relação ao conceito de interface quanto à forma de interação do usuário com o sistema. Nossa abordagem pressupõe uma exploração não estruturada, amparada por uma interface estendida que além de mediar a interação fornece um suporte não diretivo, que estimule o usuário a interagir com a simulação.

Em sua concepção, o suporte proposto em vez de direcionar o aprendiz para “o quê fazer” a cada estágio, oferece elementos necessários à execução de ações que ele/ela tem em mente. Como tema de pesquisa, esse ambiente de suporte à simulação é um domínio particularmente interessante para investigações em *design* de interfaces. Isso porque o modelo computacional funciona como um intermediário entre o fenômeno real e o modelo conceitual do usuário. O nível de percepção do sujeito para o fenômeno sendo modelado depende de como o modelo é apresentado e das possibilidades de interação usuário-sistema.

Basicamente, nossa meta é elaborar uma arquitetura que favoreça o envolvimento do aprendiz em um processo cíclico que caracteriza, por exemplo, o “fazer ciência”. Afinal, o cientista ao procurar respostas às suas indagações se envolve em um processo cíclico, que consiste basicamente na formulação de hipóteses, na concepção de ambientes experimentais e na possível reformulação de suas idéias iniciais. Acreditamos que este processo cíclico, desconhecido para a maioria dos estudantes, pode ser alcançado pelo aprendiz através da interação com alguns elementos básicos, presentes na arquitetura proposta, que favorecem a construção de um ambiente computacional equivalente ao laboratório do cientista. Esta equivalência, cientista-aprendiz, tem subjacente uma postura assumida em nosso trabalho, compartilhada por outros autores, (Driver 1986, Disessa 1987, McCloskey 1983, Papert 1985, Hildebrant 1990, Pagano 1992), de valorização do conhecimento intuitivo ou espontâneo do estudante.

Dessa maneira, neste trabalho, procuramos ressaltar nossa preocupação em relação a importância central do usuário no desenvolvimento de sistemas computacionais. Esta visão do usuário como elemento principal do processo, presente em nosso trabalho, origina-se de uma postura recente encontrada na literatura, (Norman 1986, Heckel 1991, Laurel 1990a, Hix 1993), relacionada a valorização do *design* de interfaces Homem-Computador centradas no usuário, no contexto de sistemas baseados em tecnologia.

Nesta dissertação, tendo sempre a importância do usuário como pano de fundo, procuramos na dinâmica do texto reunir os diversos tópicos abordados de forma que ao final possamos discutir, a luz de resultados obtidos, as principais questões levantadas neste trabalho.

A estrutura da dissertação compreende sete capítulos, que podem ser divididos em três partes. Os três primeiros capítulos, que correspondem a primeira parte, apresentam de forma geral o trabalho, com seus objetivos e sua contextualização em relação às abordagens existentes na literatura. A proposta de uma arquitetura para ambientes baseados em simulação, que consiste na segunda parte da dissertação, é apresentada no quarto capítulo. A terceira e última parte da dissertação corresponde aos três últimos capítulos onde procuramos exemplificar, testar e analisar a arquitetura proposta. Nos parágrafos subsequentes apresentamos, de forma sucinta, os capítulos da dissertação.

O Capítulo 2 aborda o estado-da-arte dos tópicos-chave envolvidos na tese, através de uma revisão de literatura, onde são discutidos o lugar e a importância dos computadores nos processos de ensino/aprendizado, a técnica de simulação computacional e o seu uso no contexto do trabalho e o papel fundamental da interface Homem-Computador.

O Capítulo 3 explicita os objetivos do trabalho e a metodologia utilizada para investigação da interação do usuário com o protótipo implementado, fornecendo alguns subsídios empíricos para as discussões presentes nos últimos capítulos.

O Capítulo 4 apresenta a proposta de arquitetura para ambientes computacionais baseados em simulação, como uma opção aos dois ambientes, que denominamos de ambientes de extremos, mencionados anteriormente, para a utilização da metáfora da investigação científica no processo de ensino/aprendizado.

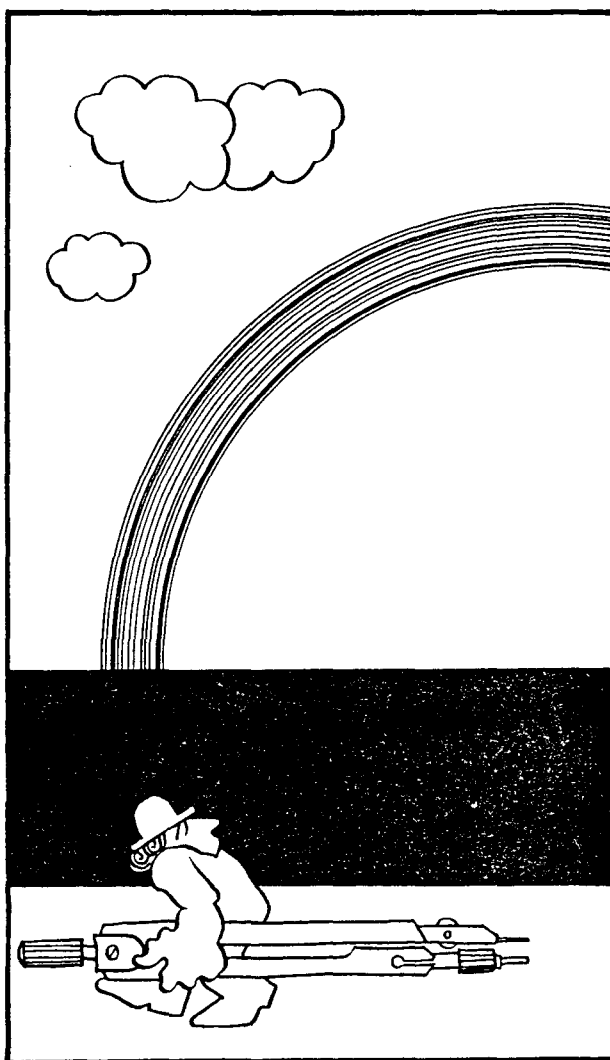
O Capítulo 5 descreve o protótipo desenvolvido, instanciado no domínio da Física dos movimentos, que ilustra alguns dos elementos que favorecem o envolvimento do usuário no “fazer cíclico”. O protótipo, denominado de **Galileu**, corresponde a uma das possíveis exemplificações para a arquitetura proposta apresentada neste trabalho.

O Capítulo 6 apresenta alguns resultados obtidos, em relação a utilização do protótipo, a partir de um estudo piloto realizado tanto para diagnosticar os conhecimentos dos sujeitos em relação aos conceitos básicos, relacionados ao domínio tratado no protótipo, quanto para avaliar a usabilidade e funcionalidade da arquitetura proposta instanciada no protótipo.

O Capítulo 7, por fim, procura destacar as contribuições deste trabalho e discutir os resultados obtidos, de forma a repensar o trabalho como um todo, fechando o “ciclo”.

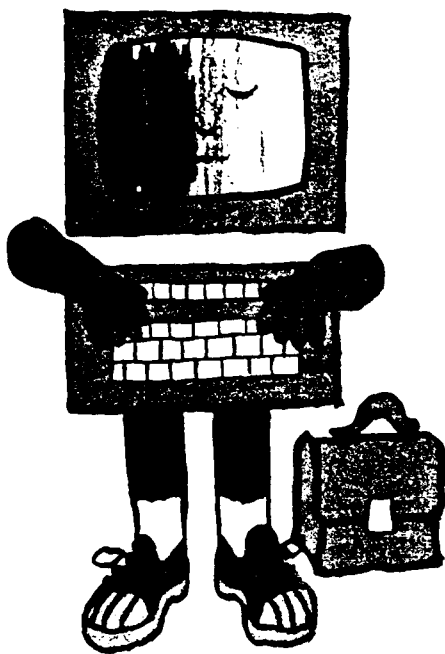
CAPÍTULO 2

O Estado-da-Arte



Neste capítulo são abordados os três tópicos-chave envolvidos nesta tese, procurando construir uma visão geral, através de uma revisão da literatura.

2.1. O Computador nos Processos de Ensino/Aprendizado



O computador está definitivamente inserido em nossa cultura, em nosso cotidiano. Sua importância é crescente e sua presença é cada vez maior. Essa participação acelerou-se principalmente a partir dos anos 80, quando os computadores não mais restritos aos grandes centros de pesquisas, miniaturizados, tornaram-se pessoais, passando a constituir-se em bens de consumo. Neste processo, de desenvolvimento dos computadores pessoais, profundas mudanças econômicas e sociais se processaram. A indústria redirecionou-se para um novo nicho de mercado, para uma faixa muito mais ampla de pessoas.

Nesse redirecionamento muito mudou, tanto em relação a *hardware* quanto a *software*. Mais especificamente, com a diversidade dos novos usuários, houve uma mudança no enfoque das configurações das máquinas assim como nos aplicativos. As máquinas tornaram-se mais poderosas, mais rápidas, menores e com custo mais acessível. Os aplicativos, por sua vez, ficaram mais orientados a tarefas e com mais recursos gráficos. Hoje, com os computadores nas mãos de grande parcela das pessoas, há uma preocupação crescente das indústrias de *software* em relação a apresentação do produto e a questões relacionadas com as necessidades e anseios dos usuários.

Com objetivos de atingir o grande público, consistentes com esta nova situação, os *software* passam a ser desenvolvidos seguindo novos princípios. Basicamente, por parte do usuário, há expectativas tanto em relação ao poder computacional da aplicação quanto a facilidade de utilização, em termos de uma interface simples e intuitiva. Muitas são as características desses novos aplicativos. O aspecto de entretenimento, com a utilização de som, texto e imagem são muito explorados pela indústria, que parece estar sensível quanto a importância do computador nos processos de manipulação de informações e aquisição de conhecimento. Atualmente, a indústria investe pesado em aplicativos destinados às crianças e aos jovens. Dentre estes aplicativos, muitos estão direta ou indiretamente relacionados aos processos de ensino e de aprendizagem, que outrora estavam limitados às quatro paredes das salas de aula. Em realidade, hoje em dia, nos lares ou nas escolas, nas firmas ou nas indústrias, cada vez mais, os computadores são utilizados com objetivos muito próximos aqueles intrínsecos aos processos de ensino/aprendizado.

Inúmeros são os motivos para a utilização da tecnologia dos computadores nos processos de ensino/aprendizagem. As indústrias, como não poderia deixar de ser, ávidas por mais consumidores, fazem sua parte e pressionam para a utilização da tecnologia. Essa pressão comercial e econômica, tanto por novos domínios quanto por novos consumidores, tem ressonância nos pais, nos jovens e nas escolas que como peças da engrenagem social e econômica do mundo giram em torno de valores e padrões de comportamento aceitos e incentivados pela sociedade, consistentes com movimentos globais (Harper, 1980).

Na literatura, muitos autores defendem a utilização dos computadores na escola com o objetivo de preparação dos alunos para esse mundo emergente. (Bacon 1992, Hawkrigde 1990, Carlson 1988, Gorrell 1988). A maioria dos argumentos se baseia na obrigatoriedade que o computador passa a se constituir para uma grande faixa de profissionais e na conseqüente importância que isso pode representar à formação dos estudantes. Para a maioria dos autores não existiria razão para que os alunos não tivessem acesso a esta tecnologia.

Entretanto, alguns autores têm restrições em relação ao uso dos computadores nos processos educacionais. Dentre estes autores há destaque para as restrições propostas por Setzer (1988). Segundo este autor a utilização das máquinas por crianças pode levar à indisciplina mental, à alienação da realidade e à perda da curiosidade. Dessa maneira, Setzer sugere a idade de dezessete anos como sendo ideal para um primeiro contato com o computador. As restrições de Setzer levam-nos a refletir sobre a importância da utilização dos computadores com responsabilidade, mas suas objeções quanto a idade mínima nos parecem autoritárias e estão na contra-mão dos processos atuais de pesquisa.

A realidade é que as crianças são a geração da Informática, tamanho o caso de amor com os computadores (Papert, 1994). Vários autores destacam o impacto dos computadores na juventude e a natureza construtiva da interação das crianças com os computadores (Ackermann 1993, Schank 1990, Schaff 1985, Papert 1985). Algumas das características intrínsecas da maioria dos jovens, como a curiosidade quase inesgotável e a postura de desprendimento diante do desconhecido, tornam a interação fascinante e envolvente para a maioria dos meninos e meninas, principalmente quando os computadores podem fornecer um *feedback* imediato às indagações quase ilimitadas das crianças. Neste panorama, há muitos adultos que gostariam da idéia de retroceder e ser novamente crianças.

É fato que a utilização da tecnologia dos computadores, nos processos de ensino/aprendizado, transcende em muito o imediatismo descartável das pressões comerciais e não deveria ser encarada como mera obrigação social. Entretanto, o uso da tecnologia indiscriminadamente não traz necessariamente mudanças a estes processos. Afinal, a informatização do ensino, as salas repletas de máquinas e as aulas nos computadores, podem representar simplesmente modismos, impostos por obrigações sociais, que perpetuam claramente o *status quo*. Neste panorama, as inúmeras potencialidades da tecnologia podem ser desperdiçadas, deixando de existir modificações profundas nos processos de ensino/aprendizagem. Além disso, com a informatização das escolas e com a ausência de apoio do Estado, a presente desigualdade entre escola pública e particular tende a alargar ainda mais as desigualdades sociais brasileiras.

Dessa maneira, diante da complexidade do tema, muito tem sido discutido sobre o papel e o lugar do computador nos processos de ensino/aprendizado. De La Taille (1990) aborda esta questão a partir de um estudo comparativo entre o computador e os instrumentos tradicionais de ensino. O autor propõe uma classificação desses instrumentos em três categorias básicas. Com esta sistemática, descrita a seguir, de La Taille procura traçar paralelos do novo com o tradicional. Dessa forma, com a explicitação das semelhanças, o autor mostra indiretamente que a novidade de utilizar o computador nos processos de ensino/aprendizado não constitui por si só em uma abordagem inovadora.

A primeira categoria proposta por de La Taille, corresponde aos instrumentos inseridos no processo de ensino/aprendizado por uma necessidade curricular de alguma matéria específica. Por exemplo, considerando as aulas de ciências, podemos citar pêndulos, balanças, termômetros, pipetas, microscópios, como elementos representativos desta categoria. Neste exemplo, as aulas de ciências fornecem os objetivos didáticos a estes instrumentos que, em situações extra-classes, são utilizados sem essas funções. Naturalmente, o computador quando utilizado como instrumento de uma matéria arbitrária ou como matéria propriamente, necessário para as aulas de programação, guarda muitas semelhanças com os instrumentos citados acima, podendo ser considerado como elemento pertencente a esta categoria.

A segunda categoria consiste nos instrumentos adaptados para utilização nos processos de ensino/aprendizado. Como exemplo desses instrumentos, pode-se citar a televisão, o vídeo, a fotografia, os livros didáticos, entre outros. Esses elementos invariavelmente são utilizados para substituir, complementar ou reforçar determinadas funções atribuídas ao professor. O computador, com todo seu potencial de suporte para integração de mídias, aparece como instrumento útil (Harrison, 1988), que adaptado pode despertar fascínio, seja num programa multimídia, seja num *software* de simulação em Física, seja num editor gráfico com inúmeros recursos, sejanum jogo engenhoso e atraente. Esta possibilidade de estimular e interessar os aprendizes, mantendo-os acordados, engajados na atividade, faz do computador um instrumento ou uma ferramenta poderosa aos processos de aquisição de conhecimento.

A última categoria, proposta por de La Taille, corresponde aos instrumentos concebidos com objetivos educacionais específicos. Por exemplo, o material Montessori e os seis dons de Froebel são instrumentos concebidos, seguindo princípios, baseando-se em teorias educacionais. O computador também pode ser considerado como instrumento desta classe. Afinal, tanto pode ser utilizado como uma versão moderna de instrumentos dessa categoria, quanto funcionar como suporte para concepções educacionais inovadoras. Basicamente, entre as concepções pedagógicas correntes há duas que devemos tecer alguns comentários.

A primeira delas, oriunda das máquinas de ensinar do ensino programado de Skinner, constitui-se na utilização do computador como uma versão moderna da instrução programada (Computer Assisted Instruction- CAI). Nessa abordagem, o conteúdo é transmitido ao aprendiz através de uma sequência estruturada de telas. Schank (1990) denomina esta concepção de ensino como método esponja, pois o estudante atua de forma passiva, absorvendo as informações transmitidas.

“... a máquina como um bom professor particular, a máquina só apresenta o material didático para o qual o aluno está preparado.” (Skinner, 1975, citado em de LaTaille, pp. 74)

E como um “bom instrutor”, a avaliação do aprendiz é feita baseada nas respostas (certas ou erradas) do usuário que, de forma rígida, é guiado em uma sequência prévia, através de passos definidos independente de sua vontade. Mais recentemente, desenvolveram-se os sistemas denominados de Tutores Inteligentes (Intelligent Tutoring Systems), que utilizam técnicas de IA para representar tanto o conhecimento do domínio do problema quanto para conduzir a interação com o aprendiz (Baranauskas 1993). Segundo Valente (1993), esses sistemas são bastante utilizados por não introduzirem nenhuma mudança na estrutura das escolas, pois reproduzem os processos das salas de aula. O mesmo autor identifica bons programas tutoriais que podem oferecer suporte eficiente tanto para o aprendiz quanto para o professor. Entretanto, como frisa Mayes (1988), ainda é um desafio de alta complexidade desenvolver um sistema que desempenhe o papel de um “bom professor particular”.

A segunda concepção pedagógica, que utiliza o computador para fins educacionais, corresponde a linguagem de programação *Logo* e sua metodologia de uso, desenvolvida por Papert, inspirada no construtivismo de Jean Piaget. No ambiente *Logo* o aprendiz procura, a partir da interação com os elementos do sistema, refinar suas próprias concepções, pois de acordo com a abordagem de Piaget a criança desenvolve seu aprendizado antes mesmo de frequentar a escola. Papert propõe uma mudança de atitude em relação ao erro. Enquanto Skinner procura minimizar as ocorrências de erro, no ambiente *Logo* o erro é aceito e valorizado.

“Os erros são benéficos porque nos levam a estudar o que aconteceu, a entender o que aconteceu de errado, e, através do entendimento, a corrigi-los.” (Papert, 1985, p. 142)

Seguindo a concepção construtivista, o aprendiz deve aprender a programar em *Logo* programando, enfrentando e corrigindo os *bugs* que comete durante o processo.

“No ambiente *Logo* a criança não é criticada por ter feito um erro ao desenhar. O processo de *debugging* é uma parte integrante do processo de compreensão de um programa. O programador é encorajado a estudar o *bug* ao invés de esquecê-lo.” (Papert, 1985, p. 85)

Segundo Valente (1993), a exploração das atividades e dos conceitos espaciais, através da manipulação procedural da tartaruga, correspondem a porta de entrada da metodologia *Logo*. Segundo o mesmo autor, a estética *Logo* tem sido utilizada para implementar jogos e diversas atividades na área de Matemática, Física, Português, entre outras.

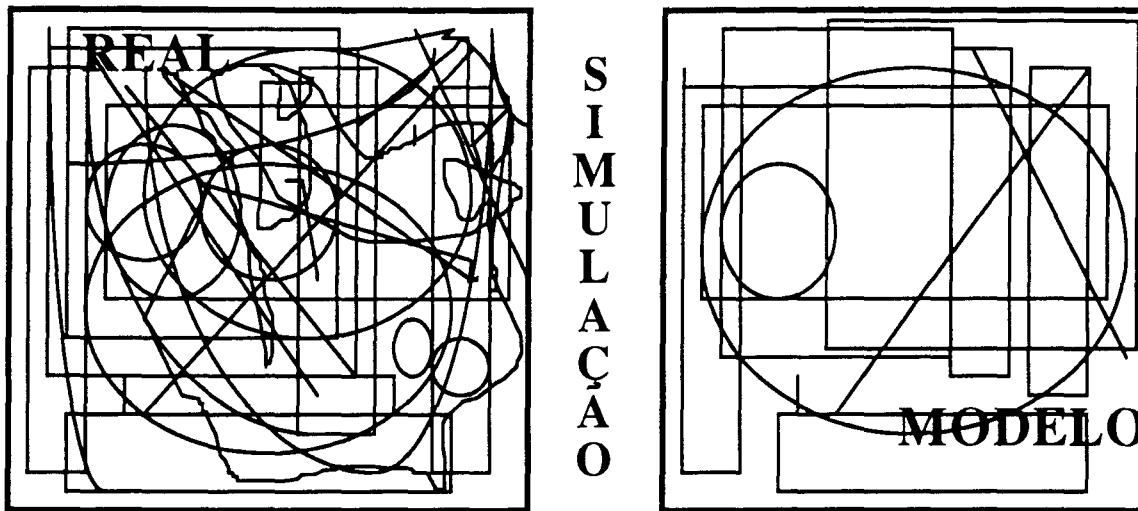
A utilização dos computadores como instrumento educacional, em qualquer das três categorias propostas por de La Taille, passa automaticamente a constituir-se em uma nova opção aos processos de ensino/aprendizado. Entretanto, como muito bem observa o mesmo autor, a simples presença dos computadores na educação não necessariamente equivale a adotar uma postura moderna, inovadora ou revolucionária em relação aos métodos de ensino utilizados. Em realidade, pode constituir-se inclusive em uma postura retrógrada, nada diferente ou até pior do que aquelas utilizadas pelos métodos tradicionais.

Ainda em relação a utilização dos computadores nos processos de ensino/aprendizado, acreditamos que cabe a cada profissional ou a cada grupo de trabalho identificar e decidir a melhor maneira, em relação aos diversos contextos possíveis, em que deve ser aproveitada a tecnologia e as potencialidades dos computadores. Afinal, a importância do computador nos processos de ensino/aprendizado e o valor de um *software* educativo dependerá em grande parte do professor que, em última instância, sempre vai ter responsabilidades pelos processos educacionais.

Apesar da função do professor e do papel da instituição escola permanecer inalterada nestes últimos duzentos anos, a introdução dos computadores no dia-a-dia das crianças corresponde a uma revolução que ainda está em andamento (Papert, 1994). Para este mesmo autor, as crianças ao utilizar os computadores estão podendo satisfazer sua enorme curiosidade, a partir do momento em que aprendem a buscar e usam as informações desta máquina do conhecimento. Dessa forma, cada dia que passa, tanto os professores quanto os pais deixam de ser os transmissores de conhecimento, os donos da verdade, para se tornarem facilitadores do processo de desenvolvimento intelectual das crianças (Valente, 1993).

Tudo indica, como observa Papert (1985), que os computadores podem equivaler a sementes de uma nova era cultural, revolucionando as concepções de ensino e aprendizado, influenciando conceitualmente o pensamento das pessoas e contribuindo, segundo Pea (1985), como reorganizadores do funcionamento mental. O poder crescente dos sistemas interativos e a riqueza de recursos oferecidos por certos ambientes, conforme Papert (1985), estimulam as crianças a pensar sobre o pensar e a verificar suas idéias. O processo cíclico de pensar-verificar-pensar, presente por exemplo nas investigações científicas, uma vez captado pelas crianças pode auxiliá-las em seu crescimento tanto emocional quanto cognitivo. Este “fazer cíclico” está relacionado com o refinamento de nossas estruturas mentais e conforme identificado na literatura, (Pagano 1992, de Jong 1991, Schank 1990, Ackermann, 1993), pode ser estimulado por sistemas computacionais baseados em simulação.

2.2. Simulação Computacional



Há muito tempo que a técnica de simulação vem sendo utilizada em pesquisa e em aplicações nas áreas industrial e empresarial. Basicamente, o emprego da simulação torna-se imprescindível toda vez que a análise de um sistema mostra-se intratável, isto é, muito complexo para obtenção de soluções teóricas ou muito caro para sua construção com objetivos experimentais.

Neste trabalho, a definição de simulação computacional é consistente com aquela utilizada por Pagano (1992), que envolve essencialmente a exploração de elementos de um modelo, para a aquisição de conhecimento sobre o fenômeno representado. Mais especificamente, considerando-se um sistema complexo A e uma representação de A , denominada de A' , o conceito de simulação corresponde a atividade de experimentar com o modelo A' para se obter conhecimento sobre o sistema A .

Conforme van Joolingen (1991), definimos modelo como todo sistema A' utilizado para obter informação sobre certo sistema complexo A . De forma geral, todo modelo é uma representação de conhecimento sobre um sistema arbitrário, construída por meio de abstrações, com menor grau de complexidade. Neste processo de representação são criados no modelo determinados elementos que possuem semelhanças com componentes do sistema real. Dessa forma, pela analogia entre modelo e sistema modelado, é factível a obtenção de informação sobre o sistema, através da manipulação de aspectos do modelo.

O mesmo autor considera o conceito de sistema real a ser modelado e o conceito de modelo base que descreve completamente todos os aspectos de um sistema. Em suas considerações, o mesmo autor propõe a existência de sub-modelos derivados do modelo base que representam e descrevem um subconjunto arbitrário do sistema real, seja ele físico ou hipotético.

Em particular, em relação aos sistemas físicos algumas considerações devem ser feitas. Em primeiro lugar, pela complexidade dos sistemas da natureza e pela impossibilidade de observações completas e totalmente precisas torna-se impossível construir um modelo base completo para esses sistemas. Em segundo lugar, os modelos dos sistemas físicos se referem a características observadas relacionadas ao aspecto do sistema analisado. A imprecisão das observações e a correlação modelo-observação torna necessária a utilização do conceito de validação do modelo para verificação da fidelidade ou não da representação.

Essencialmente, como destacado por van Joolingen (1991), existe uma equivalência entre os processos de modelagem e de simulação de sistemas físicos ao objetivo da pesquisa científica, que procura construir modelos que sejam consistentes com as observações do fenômeno considerado e que sejam válidas para novas situações. Este processo de descrição e interpretação dos sistemas naturais caracteriza a ciência dos nossos dias, que tem como marco pioneiro os trabalhos de Galileu Galilei. A citação de Einstein (1938), transcrita abaixo, ilustra o processo de abstração-experimentação, típico da ciência e contextualiza tanto a modelagem quanto a simulação num aspecto global da construção do conhecimento.

"Todos os movimentos que observamos na natureza, o de uma pedra lançada no ar, o de um navio navegando no mar, o de um carro empurrado na rua, são, em realidade, muito intrincados. Para que se possa compreender esses fenômenos é sensato começar-se com os casos mais simples possíveis, passando-se gradativamente para os mais complexos, aplicando técnicas de investigação e métodos sistemáticos para solucionar alguns dos enigmas da natureza." (Einstein, 1938, p. 15)

Na literatura, independentemente da natureza do sistema real, são considerados dois tipos básicos de modelos: os modelos quantitativos e os modelos qualitativos. Van Berkum (1991) e van Joolingen (1991) também utilizam essa divisão básica e propõem uma classificação geral, de acordo com as características do modelo subjacente.

O primeiro tipo de modelo corresponde aos modelos quantitativos. Nesses modelos as variáveis consistem no conceito central e servem, por sua vez, como elementos para caracterização desses modelos. De maneira geral, as variáveis podem ser consideradas de natureza dependente ou independente, contínua e/ou discreta.

Uma variável independente não está sujeita às relações implícitas nos modelos, enquanto que uma variável dependente é função dos valores das independentes, a exceção dos valores iniciais. Em relação aos valores possíveis, dentro de um conjunto pré-definido, as variáveis podem ser tanto contínuas quando assumem qualquer valor, quanto discretas quando os valores estão limitados a um conjunto contável. Além disso, para a maioria dos modelos extremamente complexos, a mesma variável pode ser tanto discreta quanto contínua, para certas faixas de valores, sendo denominada de híbrida ou mista.

Devido a sua larga utilização, a variável tempo pode também ser utilizada como fator de classificação. No caso do tempo ser considerado como variável independente os modelos são denominados de dinâmicos, caso seja dependente os modelos são chamados de estáticos. Por exemplo, um modelo de sistemas físicos que descreva o movimento de objetos reais pode ser considerado como dinâmico, enquanto que um modelo para descrição de corpos em repouso corresponde a um modelo estático.

Outro conceito importante em modelagem e simulação, associado aos modelos quantitativos, corresponde aos parâmetros do sistema. Basicamente, os valores dos parâmetros são independentes das variáveis do modelo e estão relacionados com circunstâncias externas ao sistema. Conforme seu comportamento temporal podem ser classificados como estáticos ou dinâmicos, sendo no último caso determinísticos ou estocásticos.

O segundo tipo de modelo, apontado na literatura, consiste nos modelos qualitativos. Nesses modelos as proposições correspondem ao conceito principal, pois diferentemente dos modelos quantitativos os estados do sistema são descritos em termos de um conjunto de sentenças, sem a utilização de variáveis ou de relações numéricas. Fishwick (1989) propõe uma classificação dos modelos qualitativos de acordo com a natureza da proposição utilizada, denominando-os de modelos baseados em qualidades ou baseados em abstrações.

Nos modelos baseados em qualidade, os aspectos quantitativos do sistema real são descritos de forma qualitativa, como por exemplo: “A esfera está se movimentando com velocidade variável” ou “Na posição de retorno a velocidade é máxima”. Segundo Fishwick, para este tipo de modelo, sempre as proposições podem ser representadas por uma função que descreva quantitativamente as relações entre as variáveis envolvidas.

Nos modelos baseados em abstrações a descrição qualitativa é feita para os elementos não quantitativos do sistema. Um exemplo corresponde a um modelo para um circuito elétrico onde somente aspectos como liga e desliga, conectado e não conectado, são levados em consideração.

Vários autores destacam a analogia entre os mecanismos de modelagem e simulação com os processos básicos do pensamento humano (Pagano 1992, van Joollingen 1991, Papert 1985). Afinal, desde crianças, pela interação constante com o cotidiano, todos nós trazemos idéias intuitivas que formam modelos mentais, que nos capacitam a lidar com situações do dia-a-dia. Segundo Norman (1983), nossos modelos mentais são incompletos e nossa habilidade intelectual para utilização de sistemas físicos é limitada por vários fatores e circunstâncias. Essas limitações ficam bastante evidenciadas quando estamos diante de sistemas complexos (Svanaes 1990). Para Doerner (1980), durante o processo de interação com tais sistemas, é natural nos defrontarmos com várias dificuldades. Essas dificuldades têm uma relação direta com idéias intuitivas, enraizadas nas estruturas dos nossos modelos cognitivos, que na maioria das vezes estão em desacordo com os modelos científicos existentes, se assemelhando com concepções oriundas de teorias não mais aceitas pela ciência (Driver 1986, Saltiel 1985, Whitaker 1983, McCloskey 1983, Clement, 1983).

A expansão da nossa compreensão altera, em muitas direções, nossa visão de Mundo. Esta mudança está associada a uma tomada de consciência em relação aos processos de refinamento de nossas estruturas mentais, que podem ser depuradas através de experimentações sobre nossos modelos. Resultados recentes de pesquisa mostram que, no contexto dos processos de ensino/aprendizado, uso adequado de modelagem e simulação podem ter efeitos cognitivos profundos, propiciando novas situações em relação aos processos tradicionais de ensino, constituindo poderosas ferramentas para transformação das estruturas cognitivas presentes em nossos modelos mentais (Pagano 1992, Millar 1991, Dekkers 1981, de Jong 1991, Syllabus 1993).

De Jong (1991), um dos defensores da introdução de simulação computacional aos métodos convencionais de ensino, imagina ser necessário defini-la consistentemente ao contexto educacional para melhor aplicá-la nas salas de aula. Segundo este autor, a simulação poderia ser caracterizada em relação a quatro temas, descritos brevemente a seguir, que corresponderiam respectivamente aos modelos subjacentes, aos objetivos de aprendizagem, aos processos específicos de aprendizagem e a atividade do aprendiz.

Os modelos subjacentes, independentemente de seu tipo, na abordagem educacional, têm a função básica de processamento dos dados manipulados pelo aprendiz. Esses dados constituem-se nas informações de entrada, sendo calculados ou inferidos pelas relações implementadas nos modelos. Essas relações, proposicionais ou numéricas, determinam a saída que são consistentes com as ações do aprendiz, fornecendo um *feedback* ao usuário. Nesse sentido, a manipulação de realidades hipotéticas e de conceitos envolvidos nos modelos são aspectos básicos nos processos de ensino/aprendizado baseados em simulação. Como ilustração destes aspectos, podemos citar as aplicações desenvolvidas por Whitelock (1993) e Kankaanrinta (1991), ambas utilizando simulação sobre um modelo hipotético simples de Física de colisões e de Ecologia, respectivamente. Inumeros foram os resultados desses trabalhos, que segundo os autores foram alcançados devido a consideração de uma situação hipotética mais simples e da manipulação do fator tempo, essencial para que o estudante possa compreender algumas das relações complexas presentes em sistemas dinâmicos.

Os objetivos de aprendizagem estão implicitamente presentes no uso da simulação e têm, segundo Toval (1987), como aspecto principal o desenvolvimento da capacidade do aprendiz de estabelecer e resolver problemas, ampliando seu potencial criativo e intuitivo. Muitos autores destacam o desenvolvimento da capacidade dos estudantes para a visualização dos fenômenos naturais, relacionados aos conceitos abstratos tratados nos modelos, possibilitando a formação de *insights* relacionados aos princípios básicos (Antao 1992, Cole 1990, Millar 1991, Syllabus 1993). Para Lock (1987), que reforça a posição destes autores, o uso de simulação beneficia a maioria dos estudantes que têm dificuldades em relacionar a abstração matemática com as situações concretas do mundo real.

As metas de aprendizagem, originárias da interação estudante-simulação, segundo van Berkum (1991), podem ser classificadas em três categorias: conceitual, operacional ou meta-cognitivo. Em linhas gerais, nesta classificação dos objetivos em função da natureza do conhecimento a ser adquirido, quando o objetivo do aprendizado consiste na aquisição do conhecimento do modelo subjacente o objetivo é denominado de conceitual. De outra maneira, quando se tem intenção que ocorra a aquisição e o desenvolvimento de habilidades relacionadas a procedimentos motores ou mentais o objetivo é chamado de operacional. E por último, quando o objetivo corresponde ao desenvolvimento do conhecimento dos processos característicos de aprendizado o objetivo é denominado de meta-cognitivo.

O terceiro tema, considerado por de Jong (1991), que caracteriza a simulação no contexto dos processos de ensino/aprendizado, corresponde aos processos específicos de aprendizado inerentes a utilização de simulação. Vários autores, (Ackermann 1993, Schank 1990, Goodyear 1991, Pagano 1992, Smith 1986), destacam que o uso de simulação pode propiciar ao aprendiz um ambiente rico para a exploração. Estes mesmos autores argumentam que o aprendiz interagindo neste ambiente pode se engajar tanto em processos de resoluções de problema, quanto em processos característicos de aprendizado por descoberta ou por indução. De forma geral, o uso de simulação pode motivar o aluno a criar suas próprias hipóteses e oferecer mecanismos ao aprendiz para verificação de suas idéias, como em um laboratório.

Dessa maneira, o uso de simulação vai além da utilização simplificada como técnica para substituir o ambiente experimental de laboratório. Este potencial de uso é explorado em parte nos trabalhos de Shacham (1988), Bender (1988) e Ponta (1991), ao considerarem a simulação de tarefas práticas de laboratório. Segundo estes mesmos autores, o uso de simulação neste contexto além de propiciar aos estudantes certa experiência de manuseio de equipamentos caros ou perigosos, oferece várias oportunidades ao aprendiz de interpretar dados experimentais, promovendo um desenvolvimento da capacidade de síntese do aluno e de cooperação entre os estudantes, em busca da compreensão do fenômeno estudado.

A atividade e a interação do aprendiz com a simulação consistem no último aspecto, considerado por de Jong, e correspondem aos argumentos mais utilizados em defesa do uso da simulação no contexto educacional (Williams 1980, Dekkers 1981, Pagano 1992, Ackermann 1993). Em linhas gerais, o aprendiz ao desempenhar um papel ativo e participante do processo, na interação com o ambiente, têm a oportunidade de vivenciar situações de conflito cognitivo e de contradição de idéias, que podem auxiliá-lo a modificar certas considerações ou atitudes consistentes com suas vivências anteriores. A manipulação de grandezas do modelo, o ajuste de variáveis e parâmetros, a definição das variáveis de saída, a decisão do procedimento a tomar, a interpretação de resultados, entre outros, são apenas alguns dos exemplos possíveis das ações do sujeito sob condição de aprendizado. Esse grande grau de liberdade e de intervenção que o aprendiz tem, ao interagir com o sistema, torna o ambiente baseado em simulação uma ferramenta que pode manter o aluno interessado e estimulado pela tarefa em que está engajado, propiciando situações nas quais o aluno deve estar desperto para prosseguir no jogo divertido que pode consistir o ensino/aprendizado.

Entretanto, como citam alguns autores, (Shacham 1988, Schank 1990, Valente 1993), o desenvolvimento destes ambientes computacionais pode ser bastante caro e altamente complexo. Mas, como observa Millar (1991), muito desta complexidade ficaria reduzida ao se utilizar ambientes de prototipagem para o desenvolvimento de aplicações baseadas em simulação. Esses ambientes para implementação, segundo Hix (1993), são propícios para construções de sistemas simples e investigações relacionadas a interação e ao diálogo usuário-sistema.

2.3. Interfaces Homem-Computador



O conceito de interfaces Homem-Computador modificou-se substancialmente. Sua definição tornou-se mais abrangente, a partir da intensa proliferação e uso do computador pessoal, por grande parte do segmento social. Hoje, segundo Vertelney (1990), a definição de interfaces transcende o conceito de *software*. Laurel (1990a), por sua vez, sugere que a definição de interfaces como um espaço físico ou como uma superfície de contato, que intermedia a comunicação entre Homem-Computador, está ultrapassada. Essa ampliação do conceito está intimamente relacionada com uma nova ênfase que utiliza a abordagem centrada no usuário, para o *design* de interfaces (Norman 1986, Rheingold 1990). Nesta nova abordagem, basicamente, há a consideração tanto das necessidades quanto das expectativas do usuário, que tem o papel principal no processo de *design*.

Ao mudar o enfoque, da tecnologia para o usuário, inúmeros fatores são modificados. Mais do que um *software*, uma superfície de intermediação ou uma camada tradutora das ações do usuário, a abordagem centrada no usuário, para as interfaces tratam de todo um conjunto de interações específicas do usuário, oriundas do engajamento com o sistema, relacionadas com experiências pessoais, de natureza cognitiva, emocional, entre outras. A idéia básica de interfaces Homem-Computador amplia-se para também incluir fatores subjetivos que, segundo Winograd (1985), são essenciais para o *design* de bons sistemas. Dessa forma, ao utilizar o conceito de interfaces centradas no usuário, parece existir uma coexistência, com respeito mútuo, entre os aspectos de caráter objetivos com aqueles subjetivos, cada qual com sua importância.

Winograd (1985), destaca a inadequação e a incompatibilidade entre o desenvolvimento de bons sistemas com a formação dos engenheiros e técnicos. Haja visto, segundo o mesmo autor, que esses profissionais têm sua formação fundamentada na eliminação dos aspectos subjetivos. O interessante é que as equipes de desenvolvimento, invariavelmente, são compostas por engenheiros e técnicos. O fato é, por si só, altamente revelador e explicita uma questão chave que se encontra na literatura, acerca do enfoque errôneo atribuído ao *design* e ao desenvolvimento de interfaces (Kay 1990, Heckel 1991, Norman 1990, Nelson 1990, Grudin 1993, Hix 1993).

A citação de Norman, traduzida abaixo, recheada de pronomes possessivos, contextualiza muito bem tanto a função da interface na aplicação quanto a importância da subjetividade no desenvolvimento e avaliação de interfaces:

“O problema real com a interface é que ela é uma interface. Interfaces estão no meio do caminho. E eu não quero concentrar minha energia na interface. Eu quero concentrar-me em meu trabalho. Minha ferramenta deve ser algo que me auxilie, algo que não me empeça o caminho, e acima de tudo, algo que não necessite de minha atenção e energia. Quando eu uso meu computador estou com objetivo de ter um trabalho feito: eu não quero pensar em como usar o computador, eu quero pensar em fazer meu trabalho” (Norman, 1990, p. 210)

As avaliações subjetivas, exemplificadas por Norman, são feitas por todos nós constantemente, mesmo que não tenhamos consciência. Questões relacionadas com o aumento da produtividade, levantadas por Ferrari (1989), também são subjetivas, pois dependem da categoria de usuário considerado. Conforme Hix (1993), as avaliações da qualidade da interface giram em torno de sua “usabilidade”, isto é, de sua facilidade de aprendizado e de uso.

“Uma boa interface é como um telefone ou uma luz elétrica; quando funciona ninguém a percebe. Uma boa interface parece óbvio, mas o que não parece óbvio é como desenvolver uma interface que tenha alta usabilidade” (Hix, 1993, p.xix)

Em linhas gerais, conforme expõe Vertelney (1990), uma boa interface deve ser transparente e capacitar ao usuário o acesso fácil, sem obstáculos, a funcionalidade da aplicação. Mas como elaborar e desenvolver esta interface?

Heckel (1991) imagina que começaríamos a resolver esta questão se pensássemos mais como comunicadores e menos como especialistas em computação. Neste caso, segundo o mesmo autor, pensaríamos sempre em dois mundos diferentes: um correspondente ao meio de suporte da comunicação e o outro relacionado às subjetividades do público considerado, isto é, suas expectativas, suas preocupações, seu conhecimento entre outros. Mas principalmente, como destaca Heckel, estaríamos muito mais preocupados com a estrutura externa percebida pela mente do usuário do que com o funcionamento lógico do processo.

Os primórdios destas e de outras considerações sobre interfaces Homem-Computador remontam ao ano de 1984, com o lançamento do *Macintosh* no mercado americano (Kay, 1990). Essencialmente, a divisão *Macintosh* da *Apple* concentrou seus esforços no desenvolvimento de um computador pessoal com uma interface com o usuário inovadora.

“O Macintosh é um exemplo de como alguém pode ficar cansado da mediocridade, fazer a coisa certa e ter enorme sucesso. Essencialmente, Steve Jobs não aguentava os computadores pessoais que existiam, fez o que queria e descobriu (para alívio dele) que outras pessoas concordavam com ele. (...) A mediocridade, o adversário, eram a IBM e o MS-DOS. Eles representavam o *status quo*, que poucas pessoas notavam e que a maioria não queria mudar. Steve desafiou o *status quo* e deu início a algo que cresceu mais do que imaginava. O Macintosh começou como um computador. Virou um culto. Depois um fenômeno. Depois, um padrão.” (Kawasaki, 1993, p. 13)

A introdução de novas concepções de diálogo, pertinentes a interface, introduzidas pela *Apple* (Apple, 1992), revolucionou a forma de comunicação usuário-sistema. Os recursos gráficos da interface do *Macintosh*, além de serem responsáveis pelo posicionamento atual da *Apple* no mercado, são os fatores determinantes que modificaram tanto os elementos quanto os estilos da interação Homem-Computador. O lançamento do *Macintosh* determina um padrão para interfaces utilizado até hoje, inclusive pelas suas concorrentes.

Este padrão *Macintosh* para interfaces está associado a novos estilos de interação, a uma nova forma de comunicação Homem-Computador, que utiliza novos paradigmas e elementos para a interação, aproximando esses dois mundos.

Entretanto, apesar dos novos estilos de interação e da evolução substancial dos processos de comunicação Homem-Computador ainda existe, segundo Norman (1986), um golfo a ser atravessado entre as pessoas e os sistemas tecnológicos. Argumentamos que parte dessa problemática ocorre em função do golfo existente entre o conhecimento intuitivo do usuário do sistema sobre o domínio em que atua e o conhecimento formal presente no sistema. Nesse sentido, Norman (1986) sugere que o *design* de interfaces para ferramentas baseadas no computador deveria oferecer ao usuário controle sobre as variáveis psicológicas envolvidas na tradução da operação que ele/ela tem em mente para uma ação. Dessa maneira, no desenvolvimento de suporte computacional para ambientes de aprendizado é importante estruturar a interface de tal maneira que o sistema seja acessível ao usuário, em seu estado atual de conhecimento. Dentro dessa perspectiva, nosso desafio é projetar sistemas que incluam o conhecimento informal do estudante, concepções espontâneas sobre o fenômeno sendo modelado, na tentativa de possibilitar a ele/ela a criação dessa *ponte* entre os conhecimentos informal e formal sobre o domínio. O caso específico de aplicações baseadas em simulação contextualiza de maneira clara toda essa problemática dos golfos entre conhecimento intuitivo e conhecimento formal, como podemos verificar de Hebenstreit (1991):

“Uma simulação computacional cria um "mundo" entre realidade e algum modelo abstrato dela; essa camada intermediária pode ajudar o aprendiz a atravessar o espaço entre realidade e o modelo”.

O objetivo de fazer o modelo tornar-se para o usuário, do ponto de vista cognitivo, uma entidade tão perceptível quanto qualquer outro fenômeno, depende e define a importância do *design* da interface de comunicação usuário-sistema (Laurel 1990a, Norman 1986, Norman 1990, Heckel 1991). O desafio está em possibilitar ao usuário esse nível intermediário de abstração entre o fenômeno real e o modelo abstrato. Esse nível de abstração não será acessível sem uma proposta abrangente de interface que também considere o modelo conceitual intuitivo do usuário.

CAPÍTULO 3

Objetivos e Metodologia



O objetivo deste trabalho consiste na proposta de uma arquitetura para ambientes de aprendizado baseados em simulação e no desenvolvimento de um protótipo para efeito de exemplificação (Baranauskas 1994, Weller 1994) . De forma geral, a arquitetura proposta neste trabalho procura utilizar a metáfora da investigação científica no processo de ensino/aprendizado, através do computador. Mais especificamente, estamos propondo uma interface estendida que forneça elementos básicos consistentes com as ações do usuário numa situação de laboratório, possibilitando ao aprendiz desempenhar o papel de um cientista ou de um investigador, que ao "fazer ciência" procura associar novas informações com as antigas, buscando novas formas de pensar e de compreender o que está ao redor.

Em linhas gerais, estamos focalizando o presente trabalho na interação entre usuário-sistema e na questão do equilíbrio entre quem mantém o controle da interação durante o processo. Estamos, em realidade, em busca de um diálogo homem-máquina mais envolvente e que constitua também em fator de motivação e incentivo ao aprendiz. A arquitetura proposta sintetiza esta nossa procura, através de uma interface estendida, que contém elementos de suporte que possibilitam ao aprendiz controlar a interação do processo e participar do seu próprio processo de aquisição de conhecimento, como um agente ativo.

A simulação nos processos de ensino/aprendizado, como destacado no capítulo anterior, ao criar um mundo entre a realidade e algum modelo abstrato que descreve aspectos do real, possibilita o engajamento do aprendiz em atividades de exploração e de descoberta. Dessa maneira, o usuário atuando nesse nível intermediário, como "explorador natural" (Montessori, 1966)¹, pode conseguir atravessar o espaço entre a realidade e o modelo, por seus próprios meios, tendo como elemento de mediação a interface Homem-Computador e como motor o desejo de explorar e descobrir outros mundos.

¹ citado em Schank (1990).

A arquitetura proposta neste trabalho objetiva, ao oferecer suporte à simulação computacional, envolver o usuário no processo cíclico que todo cientista conhece e que a maioria dos estudantes desconhece. De forma geral, a arquitetura para o "fazer ciência" que estamos propondo fornece componentes básicos de suporte que são consistentes com as ações do usuário numa situação de laboratório.

Com objetivo de exemplificação da proposta deste trabalho foi desenvolvido no sistema de prototipagem *HyperCard*, uma aplicação que trata do domínio da Física dos movimentos. O protótipo tem tanto sua forma quanto sua funcionalidade consistentes com a abordagem do "fazer cíclico" a ser apresentada no próximo capítulo.

A utilização do protótipo no contexto dos processos de ensino/aprendizado foi analisada a partir de um estudo piloto, efetuado para três categorias de sujeitos, em duas situações distintas, descritas a seguir. Neste estudo piloto foi considerada como abordagem metodológica, a investigação qualitativa. Segundo Baranauskas (1993), a pesquisa qualitativa é mais adequada para tentarmos compreender a dinâmica geral da utilização de sistemas interativos. A pesquisa utilizada segue a metodologia citada em Apple (1989) e Gomoll (1990), para observação da interação usuário-sistema.

Os sujeitos escolhidos para o estudo são alunos cursando os últimos anos do primeiro e segundo graus e universitários. Nossa opção por essas categorias de sujeitos nos possibilitam investigar diversas situações, a ser descritas no capítulo seis, que enriquecem o trabalho aqui apresentado. Em primeiro lugar, a observação desses usuários colabora e fornece subsídios para discussões tanto em relação à análise do *design* da interface quanto a avaliação da facilidade de uso e funcionalidade do protótipo. Em segundo lugar, nos permite avaliar os conhecimentos intuitivos dos sujeitos no domínio considerado pela aplicação desenvolvida. Por último, nos permite verificar *in loco* o ambiente de suporte fornecido ao usuário, avaliado qualitativamente através do grau de engajamento do usuário na tarefa. Desta forma, espera-se obter resultados que permitam verificar a arquitetura proposta, contribuindo para um repensar dos principais tópicos envolvidos neste trabalho.

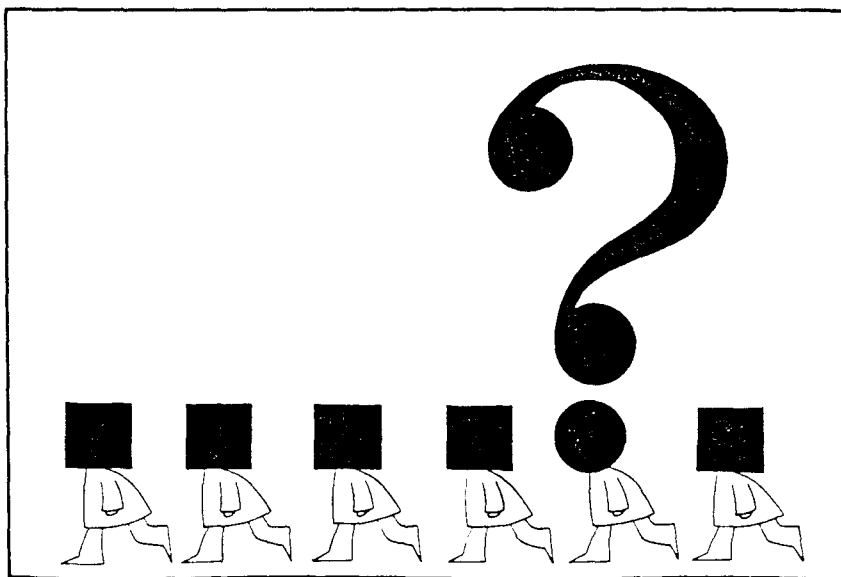
CAPÍTULO 4

Uma Proposta de Arquitetura para o “Fazer Ciência”



Neste capítulo é apresentada uma proposta de arquitetura para ambientes computacionais baseados em simulação.

4.1. O “Fazer Ciência”



O *design* de tecnologias para ambientes de aprendizado interativos, especialmente aqueles baseados em simulação, é influenciado pela perspectiva adotada em relação à natureza do conhecimento científico (Hawkins, 1987). Na sua crítica *pós-moderna*, a idéia do cientista como um observador isolado do fenômeno é substituída pelo observador participante, influenciado pela realidade do seu tempo. Progresso científico não é mais visto como um processo cumulativo, mas como mudanças revolucionárias em paradigmas dominantes (Kuhn, 1962). Conhecimento científico deixa de ser baseado em generalização dedutiva de fatos observados e passa a ser interpretação crítica dos fenômenos (Hawkins, 1987).

Essa nova postura em ciência leva a uma revisão em ensino de ciências, que deve possibilitar aos estudantes novas maneiras de entender a ciência, ao invés das abordagens direcionadas à acumulação de fatos e métodos. Os estudantes devem expandir sua visão de ciência para incluir não apenas questões do tipo *o que é verdade sobre o fenômeno*, mas questões do tipo *como interpretar o fenômeno*. A verdade relativa em ciência, vista como central na filosofia da ciência, pode ser trazida para ambientes de aprendizado, especialmente os baseados na simulação de fenômenos físicos.

Segundo Einstein (1938), o trabalho do cientista corresponde à reflexão pura do investigador, que deve encontrar por seus próprios meios a *solução* para os *mistérios* do livro da natureza. Até mesmo para obter uma solução parcial o cientista tem que coligir os fatos desordenados disponíveis, tornando-os coerentes e compreensíveis pelo pensamento criador. Em realidade, o cientista ao fazer ciência se envolve num processo cíclico, impulsionado pelo entendimento do *mundo*, fundamentado na crença da existência de ordem e regularidade nos fenômenos naturais (Feynman, 1963). Este processo cíclico, desconhecido para a maioria dos estudantes, consiste basicamente na formulação de hipóteses, na concepção de ambientes experimentais que confirmam ou não as teorias elaboradas e na reformulação das hipóteses iniciais. O envolvimento do aprendiz neste processo é objetivo da interface estendida proposta neste trabalho. Afinal, consideramos o aprendiz de forma a valorizar seu conhecimento, que como um agente ativo tenta associar novas informações com aquilo que ele já conhece.

Desde os tempos da Grécia Antiga, o objetivo da Ciência foi sobretudo elaborar uma descrição quantitativa dos fenômenos da natureza. No pensamento grego antigo não havia separação entre Filosofia e Ciência, havendo apenas o conceito de Filosofia. Atualmente a situação é outra e apesar dos avanços no conhecimento científico, a ciência do século XX nos revelou uma idéia do universo bastante complexa e misteriosa, sobretudo depois da teoria quântica (Heisenberg, 1958). O interessante, como destaca Schenberg (1984), é que certas idéias da ciência moderna se ligam a pensamentos antiquíssimos, do pensamento oriental, o que mostra que há uma certa continuidade na história do pensamento humano.

Na época do mecanicismo procurava-se a explicação de tudo baseando-se nas interações entre pontos materiais, ou melhor, pelos movimentos de moléculas, que se atraem segundo certas leis. Para os newtonianos tudo deveria seguir o modelo da mecânica clássica que considera os conceitos de espaço e de tempo separados. Entretanto, com o desenvolvimento da teoria Eletromagnética, no século XIX, há o declínio do ponto de vista mecânico com a criação de novas idéias. O conceito de campo e o espaço quadridimensional são exemplos dessas concepções que “destronaram” o pensamento mecanicista e culminaram na física moderna.

Segundo Poincaré (1901), o cientista faz ciência com fatos assim como se constrói uma casa com pedras, mas uma acumulação de fatos não é ciência assim como não é uma casa um monte de pedras. Em essência: não basta observar, devemos fazer uso dessas observações e, para isso, é necessário que generalizemos. Inicialmente, toda generalização supõe, numa certa medida, a crença na unidade e na simplicidade da natureza. Numa visão também de Poincaré, imaginando que nossos meios de investigação se tornassem cada vez mais penetrantes, descobriríamos o simples sob o complexo, depois, o complexo sob o simples, em seguida, novamente, o simples sob o complexo e assim por diante, sem que pudéssemos prever qual seria o último termo. Em algum momento temos que parar e, para que a ciência seja possível, temos que parar quando encontramos a simplicidade. Esse é o único terreno sobre o qual poderemos construir o edifício de nossas generalizações ocidentais.

Na ciência as experiências estão sempre ensinando algo de novo, fornecendo respostas a questões formuladas ou colocando novas questões. Em realidade, uma boa experiência é a que nos desvenda algo além de um fato isolado; é a que nos permite prever, isto é, a que nos permite generalizar, pois sem generalização torna-se impossível a previsão. Entretanto, não é possível realizar experiências sem idéias preconcebidas. Afinal, essas idéias pré-determinadas são aquelas espontâneas ou intuitivas, que nos capacitam a lidar com as situações do dia-a-dia, compondo uma visão limitada do mundo. Este mundo limitado pode ser ampliado através do método científico que utiliza as experiências para testar as teorias elaboradas e a descartar as “pistas” falsas, que confundem a “história” e a solução (Einstein, 1938).

O cientista ao verificar uma lei simples, em um grande número de casos particulares, se recusa em admitir que essa descoberta, tão frequentemente repetida, seja o resultado de um mero acaso e conclui, então, que a lei deve ser verdadeira no caso geral. Em realidade, toda generalização é uma hipótese que deve ser o mais cedo possível submetida a verificação. Durante o processo de verificação, quando se averiguam provas experimentais, caso a hipótese não seja válida a mesma deve ser abandonada. Segundo Poincaré (1901), existe muita contrariedade neste processo de verificação de consistência de hipóteses consideradas, principalmente quando se faz necessário abandoná-las.

Para Poincaré, esta contrariedade não se justifica. Afinal, o cientista que renuncia a uma de suas hipóteses acaba de se defrontar com uma situação de descoberta, onde pela inconsistência se encontra o novo. Dessa maneira, a hipótese assim derrubada dá lugar a uma experiência definitiva que ao contrário de uma experiência feita *por acaso*, destituída de hipóteses iniciais, não conduz a nenhuma conclusão, não possibilitando identificar nada de extraordinário no fenômeno observado. Uma observação sem objetivos é vazia e serve apenas, quando muito, para catalogar um fato a mais. Este fato a mais, utilizando a metáfora da ciência e da casa, corresponde ao tijolo sem função construtiva, pois dele não se pode tirar nenhuma conclusão.

A arquitetura para o “fazer ciência”, em ambientes computacionais baseados em simulação, que estamos propondo, e que será descrito com detalhes na próxima seção, procura envolver o usuário ativamente no processo cíclico que todo cientista conhece. De forma geral, a arquitetura proposta apresenta elementos básicos consistentes com as ações do usuário numa situação de laboratório. Dessa forma, estamos procurando criar um ambiente de ensino/aprendizado no computador onde o aprendiz possa se *sentir* como se estivesse em um laboratório, atuando como investigador. Como tal, participando ativamente no processo de criação/verificação de hipóteses, construção de cenários para os experimentos e observação baseada em representações do fenômeno. A figura 4.1 esquematiza as ações do processo cíclico de “fazer ciência” e que direcionam a proposta deste trabalho.

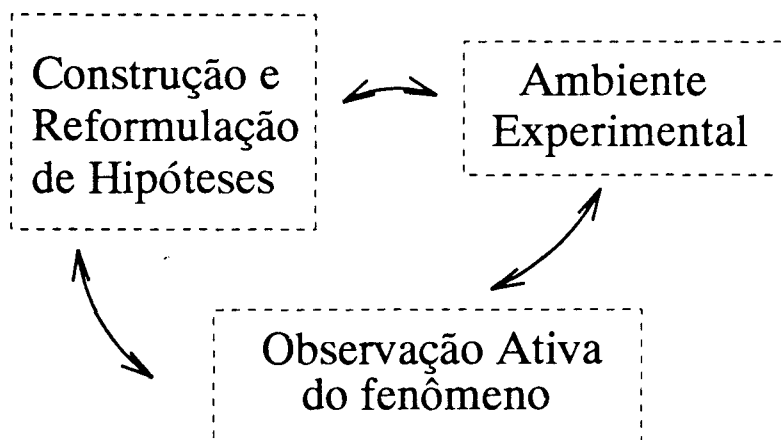


fig. 4.1: Fazendo Ciência

4.2. Ambientes de Aprendizado baseados em Simulação



Na primeira seção do capítulo 2, foram apresentados de forma geral as duas abordagens pedagógicas principais que utilizam o computador com objetivos educacionais específicos: construtivista e instrucionista. A literatura relacionada aos ambientes de aprendizado baseados em simulação considera essas duas abordagens como subjacentes a dois ambientes distintos. Nesta seção, para efeito de análise e estudo comparativo, esses dois ambientes são descritos esquematicamente, utilizando uma mesma notação para os diversos elementos que os compõem.

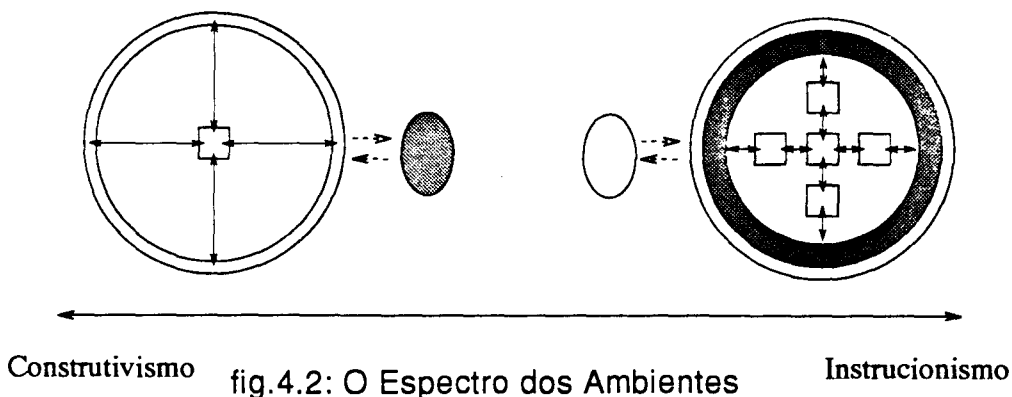
4.2.1. O Espectro dos Ambientes baseados em Simulação

Ambientes computacionais de aprendizado baseados em simulação variam amplamente, com base nos quadros teóricos subjacentes e na forma de sua utilização. Em relação ao quadro teórico que é subjacente aos diferentes tipos de sistemas baseados em simulação, teorias em vigor variam da abordagem instrucionista para a abordagem construtivista.

Como vimos anteriormente, no aprendizado por instrução o estudante é guiado através do domínio de uma forma estruturada, de acordo com certos princípios instrucionais, como por exemplo "minimizar a possibilidade de o aprendiz errar", "minimizar a carga cognitiva do aprendiz", "fornecer explicações", "pouco controle da interação nas mãos do aprendiz" entre outros (van Berkum, 1991). Segundo de Jong (1991), os ambientes inteligentes de aprendizado baseados em simulação (Intelligent Simulations Learning Environment) são representativos da abordagem instrucionista. Conforme o mesmo autor, a inclusão do módulo de simulação na arquitetura dos sistemas tutoriais (Intelligent Tutoring Systems) somado ao uso de sistemas de hipertextos, proporcionam ao ISLE mais flexibilidade e maior potencial de utilização, consistindo na nova geração de sistemas instrucionistas para ensino e treinamento (Antao, 1992).

No aprendizado baseado na abordagem construtivista à aquisição de conhecimento, inspirada pelos trabalhos de Piaget, há a concepção de que todo aprendizado é construído quando o sujeito está ativamente envolvido na construção e reconstrução do seu conhecimento anterior a partir da interação com os elementos do ambiente (Papert 1985, Ackermann 1993). Este conhecimento anterior que todo indivíduo possui, conforme as teorias de Piaget, pode corresponder a concepções espontâneas ou intuitivas, desenvolvidas através da interação constante com o cotidiano. Os sistemas exploratórios abertos correspondem aos ambientes baseados em simulação que estão associados à concepção construtivista. Esses sistemas têm uma estrutura aberta, possibilitando ao aprendiz uma livre exploração dos elementos do sistema. Nestes ambientes, consistentemente com as idéias de Piaget, o sujeito não é considerado como uma *tabula rasa* mas como agente ativo que, para interpretar um novo domínio, tenta associar novas informações com aquilo que ele já conhece.

Na literatura esses dois ambientes, descritos acima, são considerados como visões antagônicas dos processos de ensino/aprendizado. (van Berkum 1991, Yasdani 1987). Diante disso, nada mais natural do que imaginá-los como pontos distantes, em realidade pontos de extremos, sobre um mesmo espectro. Dessa forma, no *continuum* do espectro, entre os dois ambientes de extremo, estariam os diversos tipos de ambientes baseados em simulação. O posicionamento no espectro classificaria a aplicação considerada, onde se tem desde os ambientes instrucionais até os sistemas exploratórios abertos. A figura 4.2 apresenta o espectro e antecipa a representação que utilizamos para descrição dos ambientes de extremo.



4.2.2. Descrição dos Extremos do Espectro

Os ambientes dos extremos correspondem a duas visões muito diversas em relação ao mesmo foco: o processo de ensino/aprendizagem baseado no uso de simulação. Entretanto, apesar de ambas diferirem ao *extremo*, são em essência diferentes considerações de um mesmo processo, podendo ser vistos como componentes complementares de um todo. Dessa maneira, podemos imaginar que esses ambientes tão diversos tenham elementos que compartilhem semelhantes funções ou estruturas, mesmo que originários de concepções opostas. Por essas considerações, utilizaremos uma notação que descreve os elementos que constituem a arquitetura dos sistemas do extremo que simultaneamente os coloque lado a lado, para efeito de identificação dos contrastes e das semelhanças.

Começemos pelas semelhanças. De início, toda arquitetura de qualquer sistema baseado em simulação tem o que denominamos de módulo da simulação. Naturalmente, como estamos falando em sistemas baseados em simulação, estamos considerando a simulação como elemento central do processo, tanto para os sistemas tutoriais quanto aqueles exploratórios abertos. Dessa forma, na notação utilizada para descrição da arquitetura, posicionamos este módulo no centro da estrutura.

Além disso, todo sistema computacional tem uma interface de comunicação que media a interação com o usuário. Este elemento de diálogo funciona, independente de sua natureza, como descrito na seção 2.3, como um canal bidirecional que, conseqüentemente, tem duas funções. Por um lado, a saída gerada pelo sistema computacional deve ser entendida pelo usuário; por outro lado, o usuário deve poder transformar facilmente as ações que ele/ela tem em mente, em entrada para o sistema (Norman, 1986). Essa dupla função é ainda mais importante especialmente no caso de interfaces para ambientes de aprendizado, onde a demanda do usuário em relação ao ciclo de ações necessárias para a realização da tarefa é maior.

O módulo de simulação e a interface Homem-Computador são os elementos mínimos necessários para constituir uma possível arquitetura de um ambiente de aprendizado baseado em simulação. Nessa possível arquitetura de sistema, com esses dois componentes, o usuário interage com o módulo de simulação sem qualquer auxílio ou suporte. De maneira geral, nesta arquitetura, o aprendiz pode ter o controle da interação e certa “liberdade” para manipular os elementos que formam microscopicamente o módulo da simulação.

Em realidade, a inexistência de suporte e o controle da interação por parte do aprendiz correspondem exatamente às características associadas aos ambientes exploratórios abertos, que têm subjacente a abordagem construtivista à aquisição do conhecimento. Dessa forma, podemos denominar, esta configuração de “sistema mínimo” correspondente ao extremo do espectro associado aos sistemas exploratórios abertos, sendo representado na figura 4.3.

A representação do outro extremo do espectro, correspondente aos sistemas tutoriais, é ilustrada a partir do diagrama da figura 4.3, acrescentando determinados elementos consistentes com a abordagem instrucional. Nestes sistemas devido a abordagem diretiva no projeto do ambiente, a interação do aprendiz torna-se limitada a um conjunto pré-definido de ações, sugeridas por um tutor. Dessa maneira, numa primeira aproximação, podemos representar os sistemas tutoriais adicionando um terceiro componente à figura associada à arquitetura dos micromundos. Este componente, que se assemelha geometricamente a interface, envolve completamente o módulo da simulação. Sua função dentro desta abordagem é interferir no controle do processo, filtrando e selecionando as informações que passam pela interação do aprendiz com o sistema. Ao interferir na interação, os ambientes tutoriais, deslocam o controle do usuário para o sistema. Os sistemas tutoriais, como descrito na literatura (Yazdani 1987, Chan 1989, Antao 1992), também se caracterizam por possuir módulos específicos que representam por exemplo, o modelo do estudante, o domínio e outros. Assim, podemos representar a arquitetura dos sistemas tutoriais pela figura 4.4.

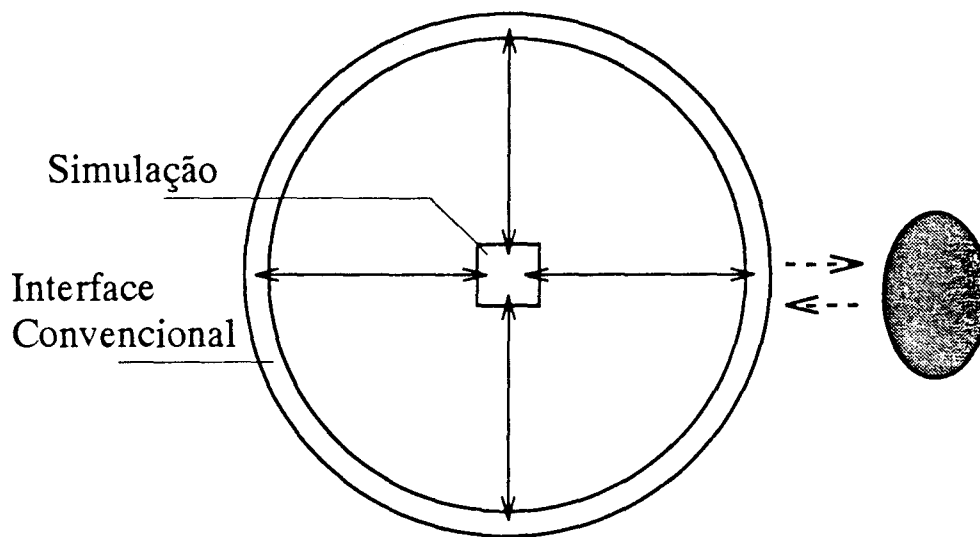


fig. 4.3: Arquitetura dos Sistemas Exploratórios Abertos

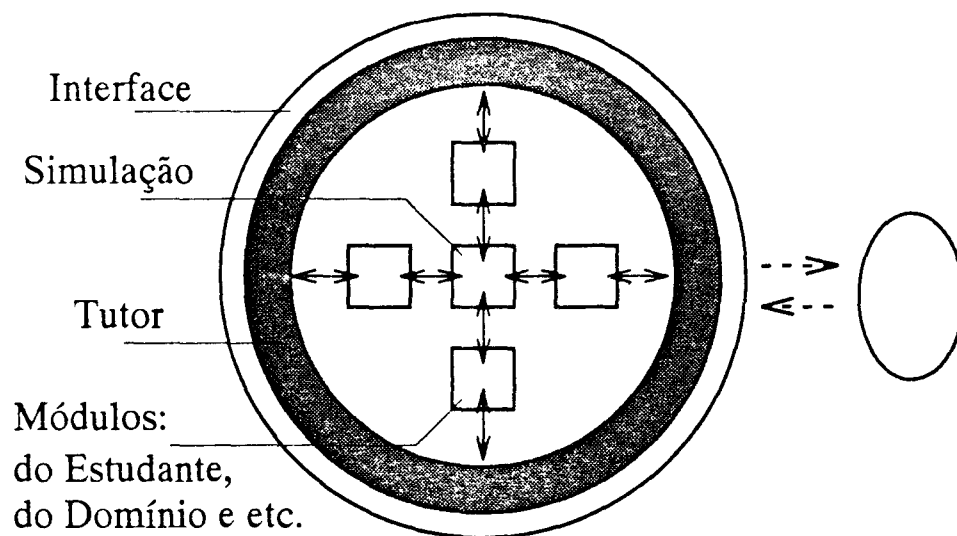


fig. 4.4: Arquitetura dos Sistemas Tutoriais

4.2.3. Discussão

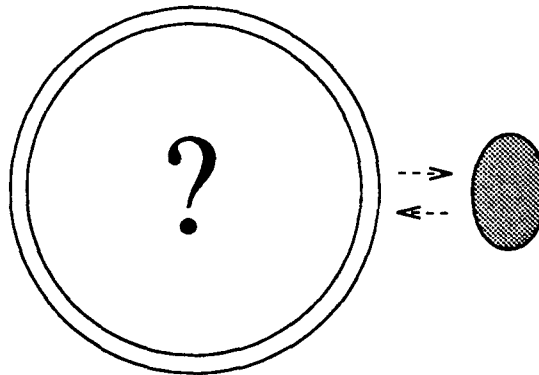
A literatura tem mostrado que ambas as abordagens, cada qual num extremo do espectro, têm a sua problemática (Yazdani, 1987). Enquanto no primeiro extremo com a exploração não estruturada e sem suporte o usuário pode se sentir *perdido*, sub-utilizando a aplicação; no segundo extremo, o ambiente projetado de forma rígida, com estrutura sequencial e diretiva, não proporciona ao usuário a liberdade na exploração e na experimentação dos elementos de seu interesse, pois o controle não está em suas mãos.

A abordagem exploratória aberta, não é apropriada para nossa intenção de utilizar a metáfora da pesquisa científica para o ensino/aprendizado de ciências. Afinal, o ambiente ao ser desprovido de qualquer espécie de suporte à simulação favorece situações de sub-utilização do sistema, por parte do usuário que ao se sentir perdido pode se desinteressar pela atividade.

A abordagem diretiva, situada no outro extremo do espectro, presente nos sistemas tutoriais, também não se adequa ao nosso objetivo de proporcionar novas situações ao processo de interação aprendiz-sistema. Sistemas tutoriais para o ensino de ciência e o processo de fazer ciência dos cientistas são incompatíveis, pelo aspecto diretivo e estruturado que caracteriza a abordagem instrucionista. Nessa abordagem não há espaço para o papel de cientista, pois o aluno é visto em uma situação de aprendizado passivo e não na situação de investigação científica.

Diante deste quadro, fica claro que um dos desafios no *design* de ambientes baseados em simulação é encontrar o equilíbrio entre “instrução” e “liberdade”, entre conduzir e deixar que o aprendiz conduza o processo. Nossa meta é encontrar a posição ótima entre esses extremos, elaborando um ambiente para sistemas baseados em simulação que favoreça o processo cíclico de “fazer ciência” e que tanto faça frente quanto ofereça soluções a esta problemática

4.3 Proposta de Arquitetura para Ambientes baseados em Simulação



Como vimos na seção anterior, para compatibilizar o ensino/aprendizado de ciências com o processo cíclico da pesquisa científica se faz necessário propor uma nova arquitetura para ambientes baseados em simulação que, situada entre os extremos do espectro, possa através de sua interface oferecer ao aprendiz a oportunidade de desempenhar o papel de cientista.

Em linhas gerais, a arquitetura proposta objetiva proporcionar ao usuário um “mundo” entre a realidade e algum modelo abstrato. Esse nível intermediário, mediado pela interface Homem-Computador, consiste em um ambiente exploratório não diretivo baseado em simulação que possibilita ao usuário interagir com o sistema. Ao considerar a simulação computacional envolvida por um ambiente de suporte oferecemos ao aprendiz uma “ponte”, entre sua realidade e o modelo abstrato nas ciências, que é comparável ao laboratório do cientista. Tal ambiente, assim concebido, pode proporcionar situações de investigação, no processo de interação usuário-sistema, que todo cientista conhece e que a maioria dos estudantes desconhece, que constitui o “fazer ciência”.

O ambiente de aprendizado propício para o processo cíclico de “fazer ciência”, proposto neste trabalho, pode ser representado esquematicamente, como os ambientes dos extremos do espectro apresentado, através de sua arquitetura. Como nas figuras 4.3 e 4.4, a arquitetura do ambiente proposto tem o elemento representativo da interface que envolve o módulo central da simulação, Entretanto, apesar desta semelhança inicial, ao projetarmos tal ambiente o fazemos de forma a valorizar novos elementos em relação, principalmente, a interação usuário-simulação e ao conceito de interface.

Nossa abordagem pressupõe uma exploração não estruturada, amparada por uma interface que ao fornecer um suporte não diretivo estimule o usuário a interagir com a simulação computacional, incentivando-o a construir à sua maneira um ambiente no computador semelhante ao laboratório do cientista. A idéia é fornecer uma camada de suporte, que contenha determinados elementos e que auxiliem o aprendiz a transformar suas intenções em ações, interagindo ativamente com as possibilidades oferecidas pela aplicação. Assim, o usuário está livre para explorar o ambiente através desses elementos, controlando o sistema e construindo seu próprio processo de aprendizado, como um agente ativo.

De forma esquemática, seguindo a notação utilizada para descrição dos ambientes dos extremos colocamos entre o módulo da simulação e a interface convencional uma camada de suporte. Esta camada contém os elementos de suporte necessários para a existência do processo cíclico característico do “fazer ciência”. À união da interface convencional com este nível de suporte às ações do usuário estamos denominando de interface estendida.

Em linhas gerais, a interface estendida tem a função tanto de mediação da interação quanto de suporte ao processo cíclico de pensar-verificar-pensar. A interface, funcionando como uma camada de suporte, apresenta elementos básicos consistentes com as ações do usuário numa situação de laboratório, isto é, criação/verificação de hipóteses, construção de cenários para os experimentos e observação baseada em representações do fenômeno sendo tratado. Dessa maneira, através da estrutura e da funcionalidade da interface estendida, esperamos envolver o aprendiz ativamente no processo de investigação científica. A figura 4.5 ilustra a proposta de arquitetura para ambientes de ensino/aprendizado baseados em simulação.

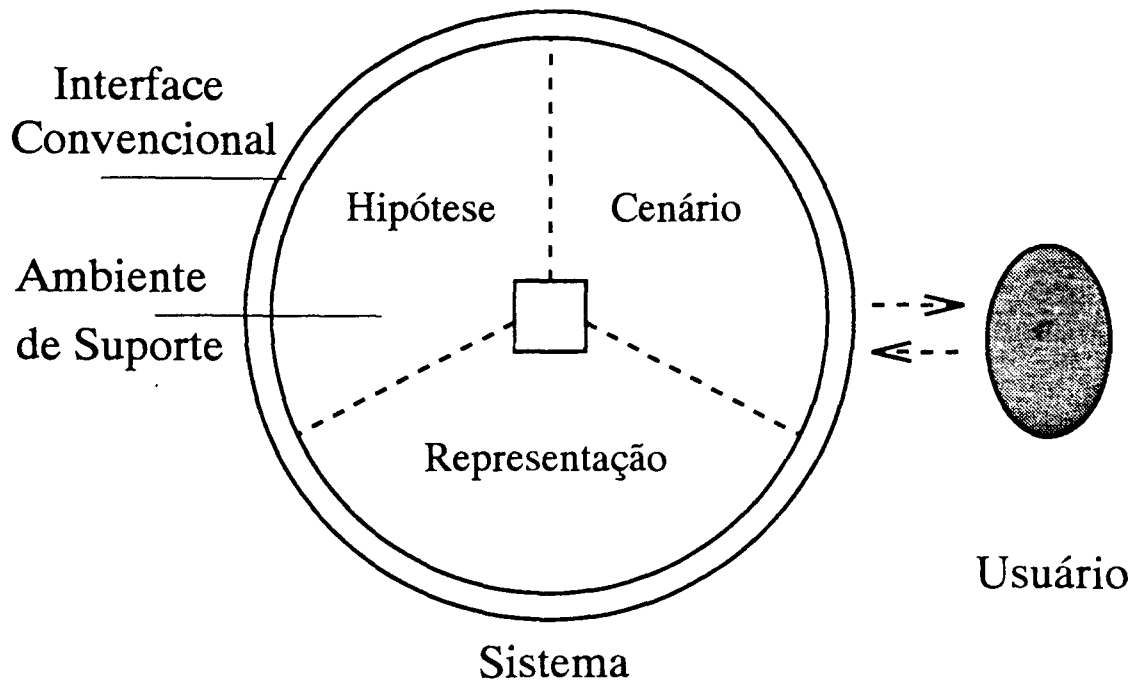


fig. 4.5: Arquitetura Proposta

Como apresentada na figura 4.5, o ambiente de suporte consiste de três partes dependentes e relacionadas, denominadas de Cenário, Hipótese e Representação.

- **Hipótese:** Parte da interface estendida que contém os elementos que possibilitam ao sujeito lidar com a construção e reformulação de hipóteses.
- **Cenário:** Parte da interface estendida que contém os elementos básicos que podem ser usados para compor um ambiente experimental.
- **Representação:** Parte da interface estendida que contém os elementos que constituem diferentes maneiras de representar o fenômeno estudado.

Cada uma destas partes é composta por diversos elementos, que são especificados em função do domínio considerado para exemplificação. Como veremos no próximo capítulo, como forma de ilustração da arquitetura proposta, implementou-se um protótipo no domínio da Física dos movimentos que procura através desses elementos e de suas inter-relações propiciar o “fazer ciência”.

CAPÍTULO 5

Galileu: Um Protótipo para a Arquitetura Proposta



Neste capítulo o protótipo desenvolvido, que corresponde a uma das possíveis exemplificações para a arquitetura proposta, é descrito em seus aspectos funcional e de implementação.

5.1. Descrição Funcional da Aplicação

“Todos os animais deixam vestígio do que são; apenas o Homem deixa vestígios do que cria”. J. Bronowski

“Tudo que decidires fazer, realiza-o imediatamente. Não deixes para a tarde o que puderes realizar pela manhã”. A Vós Confio.

Nesta seção, é apresentado o protótipo desenvolvido para exemplificação da arquitetura proposta. A aplicação é apresentada em seu aspecto funcional, sendo descritos o domínio da aplicação, a estrutura básica do protótipo e os elementos que constituem o ambiente de suporte e que, por intermédio de ações definidas, auxiliam o usuário na interação com a simulação do fenômeno físico em questão.

5.1.1. Descrição Geral do Protótipo

A aplicação proposta consiste de um protótipo desenvolvido no ambiente de prototipagem *HyperCard*, em máquinas *Macintosh*. Este protótipo considera o domínio da Física dos movimentos, exemplificando aspectos do ambiente e servindo como ilustração das idéias contidas neste trabalho.

Na abordagem subjacente ao desenvolvimento do protótipo, como descrito no capítulo 4, se pressupõe a exploração não estruturada, amparada por um suporte não diretivo que estimula o usuário a interagir com o sistema. Como visto anteriormente, a idéia consiste em fornecer elementos que estão associados com as três partes representativas do ambiente de suporte da arquitetura proposta. Esses elementos possibilitam ao usuário engajar-se ativamente na tarefa, auxiliando-o a envolver-se ciclicamente no processo de "fazer ciência". Três deles, dentre esses elementos, denominados de agentes, auxiliam diretamente o aprendiz a trabalhar com as representações dos fenômenos tratados, oferecidos pela aplicação. Dessa forma o aprendiz tem a possibilidade de explorar as possibilidades e concomitantemente construir seu próprio processo de aprendizado, como um agente ativo.

A área do conhecimento escolhida para exemplificação está relacionada com o domínio da Física que trata dos movimentos, onde uma mudança de postura para o ensino tem acontecido nos últimos anos (Hawkins 1987, Grimellini 1993). Os trabalhos desenvolvidos por Galileu Galilei, no século XVII, constituem um marco da ciência e são responsáveis pela ruptura e superação da Teoria Aristotélica, aceita pelo Ocidente por vinte séculos. Galileu foi o primeiro a abandonar a "ciência especulativa ou contemplativa", através da elaboração de experiências e utilização de instrumentos para confirmação da validade ou não das teorias elaboradas. Segundo Einstein (1938), o estudo do movimento por Galileu Galilei marca o início da Física dos nossos dias e o começo do método científico moderno.

Mais especificamente, o movimento de objetos comuns do dia-a-dia, governado pelas Leis de Newton (fundamentado no trabalho pioneiro de Galileu), constitui o tópico da Física tratado no protótipo. Tal tópico, denominado de Cinemática, corresponde ao primeiro assunto tratado nas escolas, nas aulas de Física, sendo comprovadamente um dos mais complexos para os alunos (Hildebrandt, 1991). Nela, são desenvolvidos os conceitos cinemáticos de posição, velocidade, aceleração, intervalo de tempo, trajetória, entre outros; e conceitos matemáticos como a representação gráfica dos movimentos e a representação vetorial dos conceitos envolvidos no movimento.

Na literatura são encontradas várias aplicações baseadas em simulação, que utilizam a Física como domínio do sistema (Syllabus 1993, Bottino 1993, van Staden 1987, Bacon 1992, Borghi 1989, Borghi 1991, Risley 1995, Cole 1990, Whitelock 1993). No recente catálogo de *software*, para ensino de Física, editado por Risley (1995) se destacam os trabalhos de Trowbridge, de Schwartz, de Cramer e de Horwitz, todos relacionados a Física dos movimentos

Nestes trabalhos, com destaque para os de Risley (1995), Cole (1990) e Whitelock (1993), existe sempre a intenção de apresentar de forma criativa e engenhosa os diversos conceitos usados para descrição do fenômeno físico. Dessa maneira, através de ambientes altamente gráficos e com grande poder interativo, procura-se envolver o aprendiz na exploração de elementos desses ambientes, de forma agradável, divertida e desafiadora.

Os diversos elementos encontrados no protótipo foram especificados, de acordo com a abordagem proposta apresentada no capítulo anterior, para o domínio da Física dos movimentos, e exemplificam as três partes que constituem a camada de suporte da arquitetura proposta.

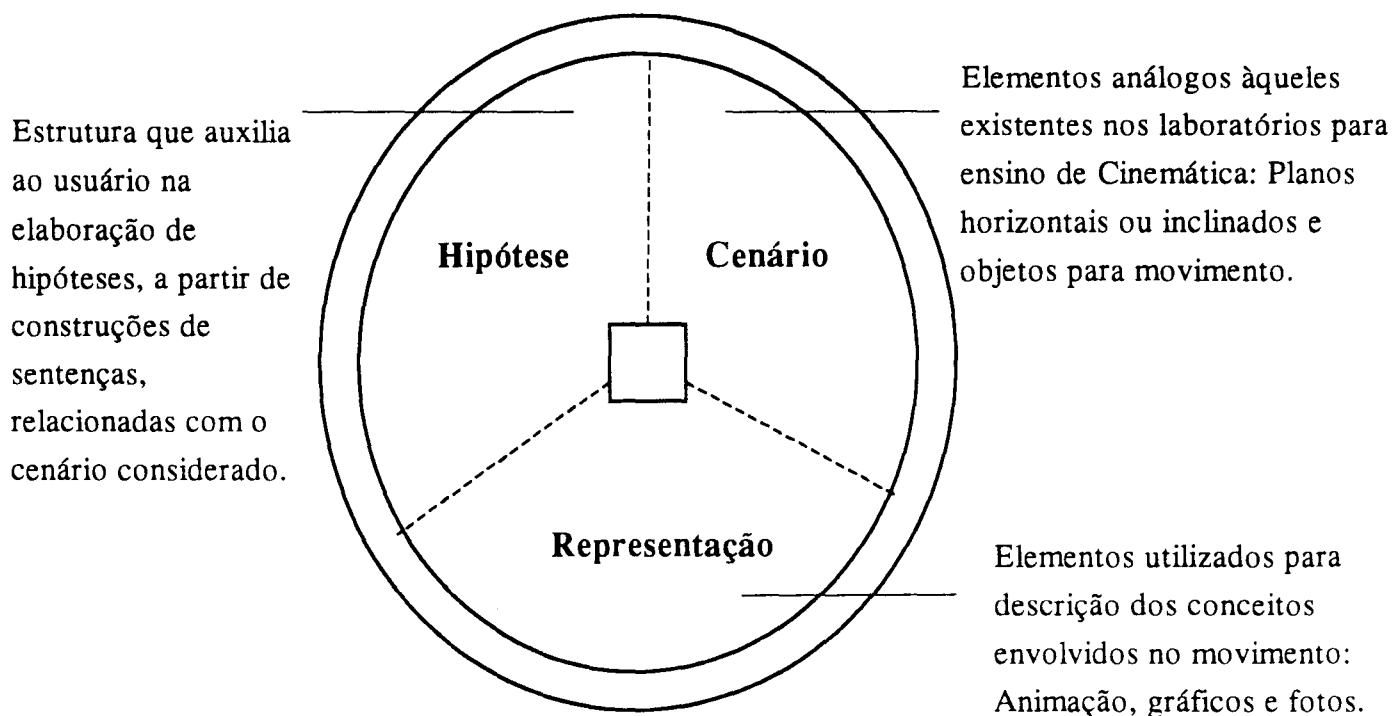


fig 5.1: Exemplificação da Arquitetura proposta

Assim, como ilustrado na figura 5.1, o protótipo oferece através de seu ambiente de suporte elementos que podem auxiliar o aprendiz a fazer ciência. Dessa forma, na parte do ambiente de suporte correspondente a Cenário são fornecidos ao usuário alguns elementos básicos, análogos aqueles existentes em laboratórios para ensino de Cinemática, para construção de um cenário experimental. Como exemplificação da parte do ambiente de suporte associada a Hipótese é oferecido ao usuário uma estrutura que possibilite ao mesmo construir e reformular suposições, em relação a um determinado cenário. E como ilustração da parte do ambiente de suporte relativa a Representação são oferecidas formas de representação do fenômeno físico tratado, como por exemplo: animação, fotos do movimento e gráficos das grandezas envolvidas.

Numa visão geral, a aplicação oferece cenários sobre os quais o usuário, através da manipulação dos elementos do sistema, pode investigar a dinâmica dos conceitos físicos envolvidos no fenômeno representado. Para cada um dos cenários considerados há a presença dos agentes de suporte e das distintas representações do fenômeno. Enquanto as ações de cada elemento do suporte são consistentes com o cenário associado e com os papéis fixos desempenhados por cada um deles, as representações do fenômeno constituem-se o palco dinâmico do processo. Dessa maneira, de forma global, tanto os agentes de suporte quanto as representações do fenômeno constituem-se nos elementos que, durante a interação usuário-sistema, procuram levar o usuário à considerar os diferentes aspectos de um mesmo tema e a experimentar visões complementares que o auxiliem no processo de aquisição do conhecimento

A figura 5.2 apresenta a tela do protótipo, correspondente a um dos cenários possíveis, com os elementos de suporte da arquitetura aqui ilustrada. As telas do protótipo, que apresentam um cenário central arbitrário, têm as mesmas características. Nessas telas a simulação do fenômeno está sempre associada ao cenário experimental, definido pelo(s) elemento(s) de cenário, situado na moldura central da tela. Os elementos icônicos, posicionados fora da moldura do ambiente experimental, são elementos sensíveis ao *mouse*, que uma vez selecionados disparam ações específicas. Essas ações determinam, para cada elemento de suporte do ambiente proposto, características que definem e ajudam a construir no usuário modelos em relação a funcionalidade do elemento de suporte e ao possível auxílio prestado para compreensão do fenômeno físico.

O protótipo oferece três agentes de suporte, dentre os elementos icônicos sensíveis ao mouse, apresentados na figura 5.2. Esses agentes através de suas ações personificam posturas diferentes mas complementares em relação a situação considerada, descritas a seguir. A utilização de elementos antropomórficos no nível de interface facilita a aproximação e o engajamento do usuário com a tarefa (Laurel 1990b, Schank 1990, Soloway 1993). De maneira funcional, as ações dos agentes além de caracterizá-los equivalem a novos contextos que fornecem suporte específico ao usuário, durante a interação com o sistema.

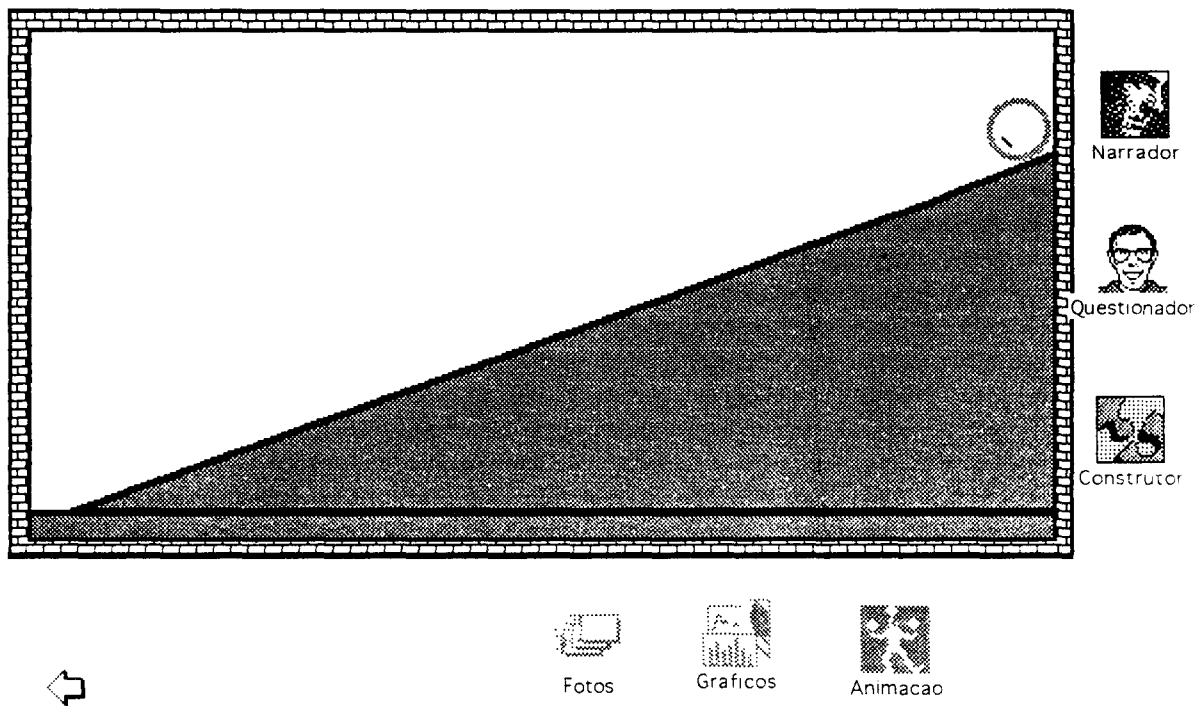


fig 5.2: Cenário do Plano Inclinado, com os elementos de suporte



fig. 5.3: Os Agentes e seus ícones

De forma resumida, os agentes de suporte, apresentados na figura 5.3, desempenham os seguintes papéis no processo de interação usuário-computador:

1. O Narrador é o personagem que contextualiza o assunto considerado, correlacionando fatos muitas vezes vistos como desconectado, o que pode possibilitar ao aprendiz uma visão globalizante do tópico.
2. O Questionador é o personagem que durante o processo está sempre propondo questões pertinentes ao cenário, fornecendo ao usuário uma situação propícia para a descoberta, pelos seus próprios meios.
3. O Construtor de Hipóteses é o personagem que auxilia especificamente no processo de formulação e verificação da suposição construída. Para todo cenário considerado, são oferecidas possibilidades de construção de hipóteses e situações favoráveis para constatação da validade ou não da idéia.

Como o protótipo trata da Física dos movimentos, além dos três agentes descritos acima, são também oferecidos elementos de suporte que representam e descrevem os fenômenos dinâmicos. Esses elementos representados como ícones na figura 5.2, correspondem a três formas possíveis para descrição dos movimentos em Mecânica. Nos livros didáticos e nas aulas de Física são apresentados aos estudantes diversos gráficos dos movimentos. Segundo McDermott (1987), os alunos possuem muitas dificuldades na interpretação da linguagem gráfica e muitas vezes não conseguem conectar a informação representada graficamente com o movimento no mundo real. Diante desta dificuldade e consciente de outras relacionadas ao ensino de Física (Trowbridge 1980, Villani 1985, Osborne 1980, Clement 1983, Zylbersztajn 1983), o protótipo além dos gráficos, oferece duas representações que mesmo ausentes nas aulas de Física são familiares a maioria dos estudantes. Os elementos de representação presentes no protótipo incluem:

Gráficos: Em todo cenário dois ou três gráficos dos conceitos envolvidos no movimento são oferecidos simultaneamente.

Animação: Para todo cenário, conforme manipulação dos valores das variáveis envolvidas, a animação do movimento é oferecida.

Fotos: O protótipo oferece uma representação correspondente a fotos estroboscópicas que registram o movimento.

5.1.2. Descrição da Estrutura Básica

Logo no início da interação com o protótipo, a partir da tela geral de apresentação, figura 5.4, o usuário pode ser apresentado aos três agentes já descritos anteriormente. As telas de apresentação, associadas aos agentes, correspondem a um efeito associado a um evento do ambiente relacionado ao *mouse*, que tem como ação remeter o usuário ao contexto do agente selecionado.

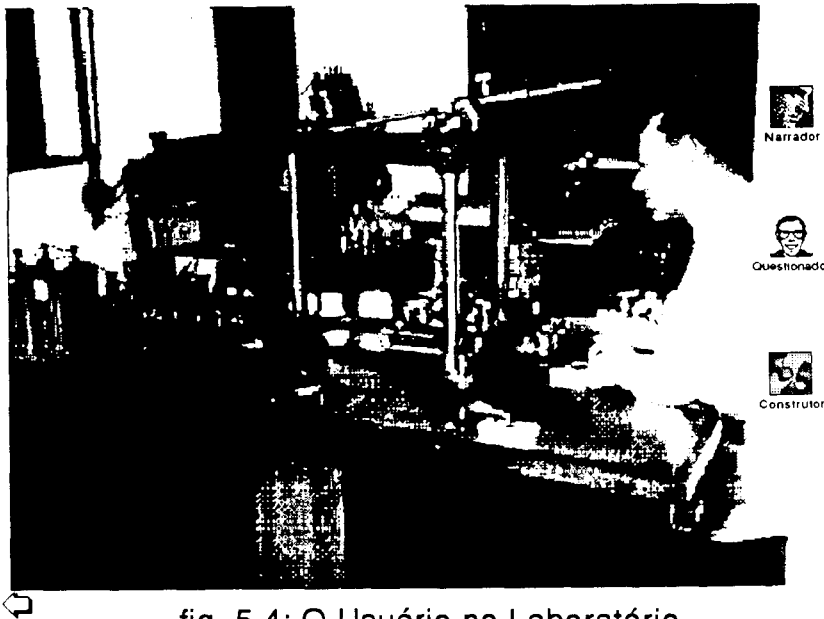


fig. 5.4: O Usuário no Laboratório

Em realidade, como ilustrado na figura 5.5, todas as apresentações têm efeito de informar as diferentes formas possíveis de interação e dar as boas vindas ao usuário, quando este cruza a “fronteira” e entra no “laboratório”.

Para o envolvimento ativo do usuário no processo cíclico de “fazer ciência”, isto é, o sujeito como se fosse um cientista, descrito com detalhes no capítulo anterior, se faz necessário criar condições que levem em última instância a uma situação na qual o aprendiz possa se sentir como se estivesse em um laboratório de um físico. Dessa maneira, alcançado esse objetivo, o protótipo funciona como uma “ponte” entre a realidade do sujeito e o modelo do cientista. A proposição e o convite ao usuário para entrar no laboratório do protótipo tenta criar uma atmosfera de desmistificação da figura do cientista e aproximar este arquétipo para a pessoa do usuário.

Afinal, todos nós em nosso dia-a-dia agimos como investigadores e temos inúmeras hipóteses a respeito das mais diminutas situações. Necessitamos dessas suposições, mesmo que não sejam consistentes, para nos situarmos no mundo. A figura 5.6 mostra o convite ao usuário para tentar agir, em relação aos cenários do protótipo, como se fosse um cientista.

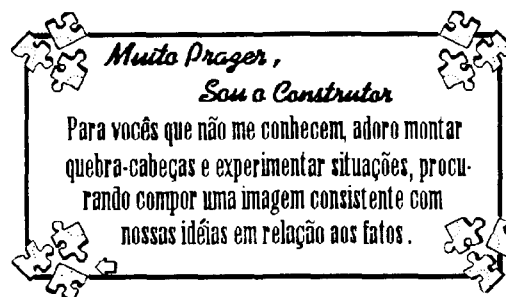
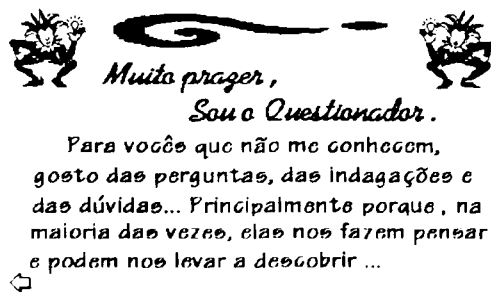
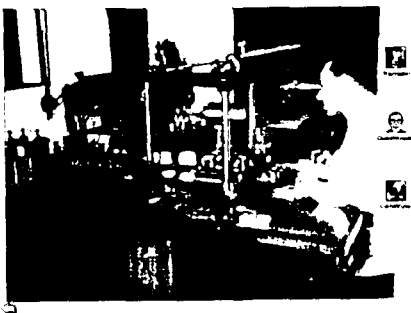
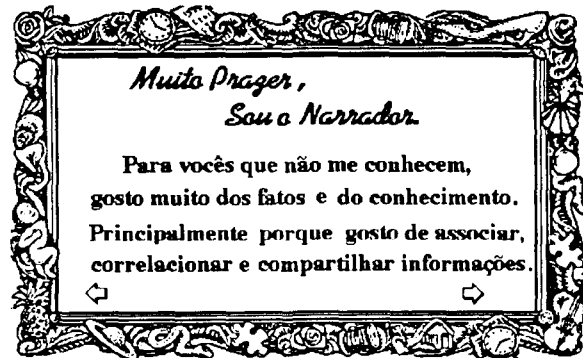


fig.5.5: Apresentação dos Agentes

O MUNDO É UM LABORATÓRIO ...



Narrador



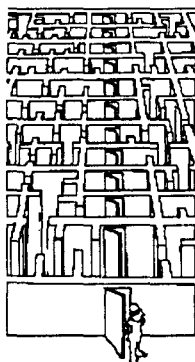
E de maneira geral, todos nós podemos ser considerados como cientistas, a partir do momento que estamos procurando novas formas de pensar e de compreender o que está nossa volta.

Muitas vezes ao observar e refletir sobre alguma situação estamos "fazendo ciência", que num sentido mais amplo pode ser o simples fato de estarmos procurando respostas a nossas dúvidas.



fig. 5.6: O Usuário como um Cientista

Independente da postura tomada pelo usuário na interação com o protótipo, a aplicação oferece duas alternativas básicas que se referem ao processo de escolher ou construir cenários, conforme apresentado na figura 5.7.



A observação está sempre associada a alguma situação, em algum cenário.

Na ciência procuramos observar situações simplificadas em cenários idealizados. Essa abstração do Mundo real é fundamental para verificação de nossas idéias, nossas hipóteses.

Afinal, para compreendermos o que nos cerca, fica mais fácil se "simplificarmos" a situação .



Narrador



Cenários prontos

Cenários a construir

fig. 5.7: Construir ou Escolher cenários

O protótipo oferece ao usuário a opção de cenários prontos ou a alternativa de construção de cenário, através das ferramentas de cenário ou dos blocos básicos para construção. A tela que apresenta a bifurcação da aplicação tenta mostrar ao usuário sobre a importância do ambiente experimental para qualquer investigador e das formas distintas que um pesquisador pode se defrontar com a elaboração do aparato experimental.

A tela básica das tarefas oferece quatro cenários prontos e a moldura central para palco do processo dinâmico, como ilustra a figura 5.8. Esses cenários propostos estão associados a quatro tarefas de Piaget, oriundas do seu trabalho de pesquisa sobre as concepções espontâneas das crianças em relação ao movimento e velocidade (Piaget, 1970). Nessas tarefas é possível averiguar o conhecimento do aprendiz em relação à simultaneidade, uniformidade e conservação do movimento, considerando os conceitos básicos envolvidos: posição, distância percorrida, tempo, intervalo de tempo, velocidade e aceleração.

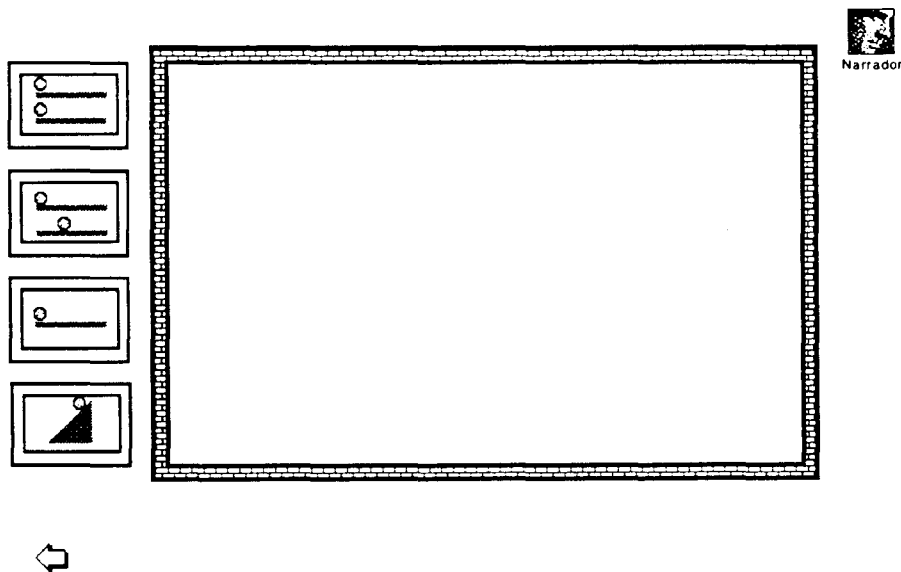


fig. 5.8: Tela Básica para as Quatro Tarefas de Piaget

A tela básica dos cenários a construir fornece, além da moldura central, uma barra de ferramentas para construção de cenários, apresentada na figura 5.9.

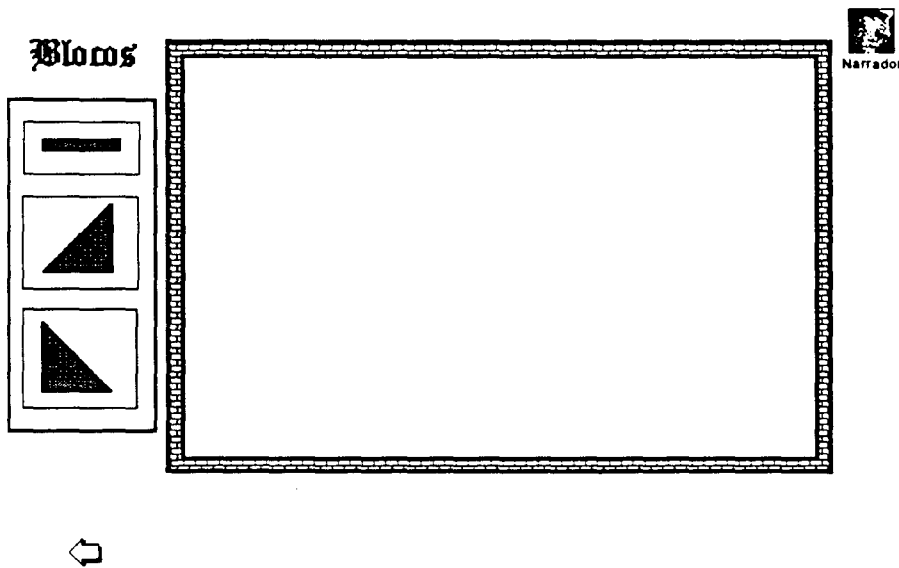


fig. 5.9: Tela Básica para os Cenários a Construir

Essas ferramentas, em realidade, são os blocos básicos presentes em qualquer bancada de laboratório para ensino de mecânica e que podem compor até 25 cenários, na aplicação. Nesta alternativa do protótipo, o usuário é levado a manipular os blocos de cenário que conforme a ordem de seleção dos mesmos determina o cenário composto. Para ilustrar, a seleção de um plano horizontal seguido de um plano em aclave determina um cenário simples, com os dois planos em sucessão, com o plano horizontal antes do aclave. A seleção dos mesmos blocos mas em ordem inversa determina um outro cenário simples semelhante, com os mesmos planos em sucessão, mas com o aclave antes do plano horizontal.

A partir do ponto da interação, representado pela figura 5.8 e figura 5.9, independente do caminho tomado pelo usuário, pode-se atingir a mesma situação daquela representada na figura 5.2. Nela há o cenário horizontal definido, seja pela escolha ou pela construção, como também os elementos de suporte que fornecem auxílio consistente para este cenário. Além disso, todos os cenários possíveis do protótipo, do ponto de vista estrutural, são invariantes em relação ao ambiente experimental. Isto é, qualquer que seja o aparato experimental composto pelo usuário, os mesmos elementos de suporte estarão presentes e as ações disparadas pelos mesmos serão equivalentes.

Desenvolvido dessa maneira, invariante quanto ao tipo de cenário definido, a “lógica” ou a estrutura funcional da aplicação torna-se relativamente simples. O diagrama da figura 5.10 ajuda a tornar esta questão mais clara, apresentando esquematicamente todas as telas que compõe a estrutura básica junto com as ações e seus fluxos que costuram a aplicação como um todo.

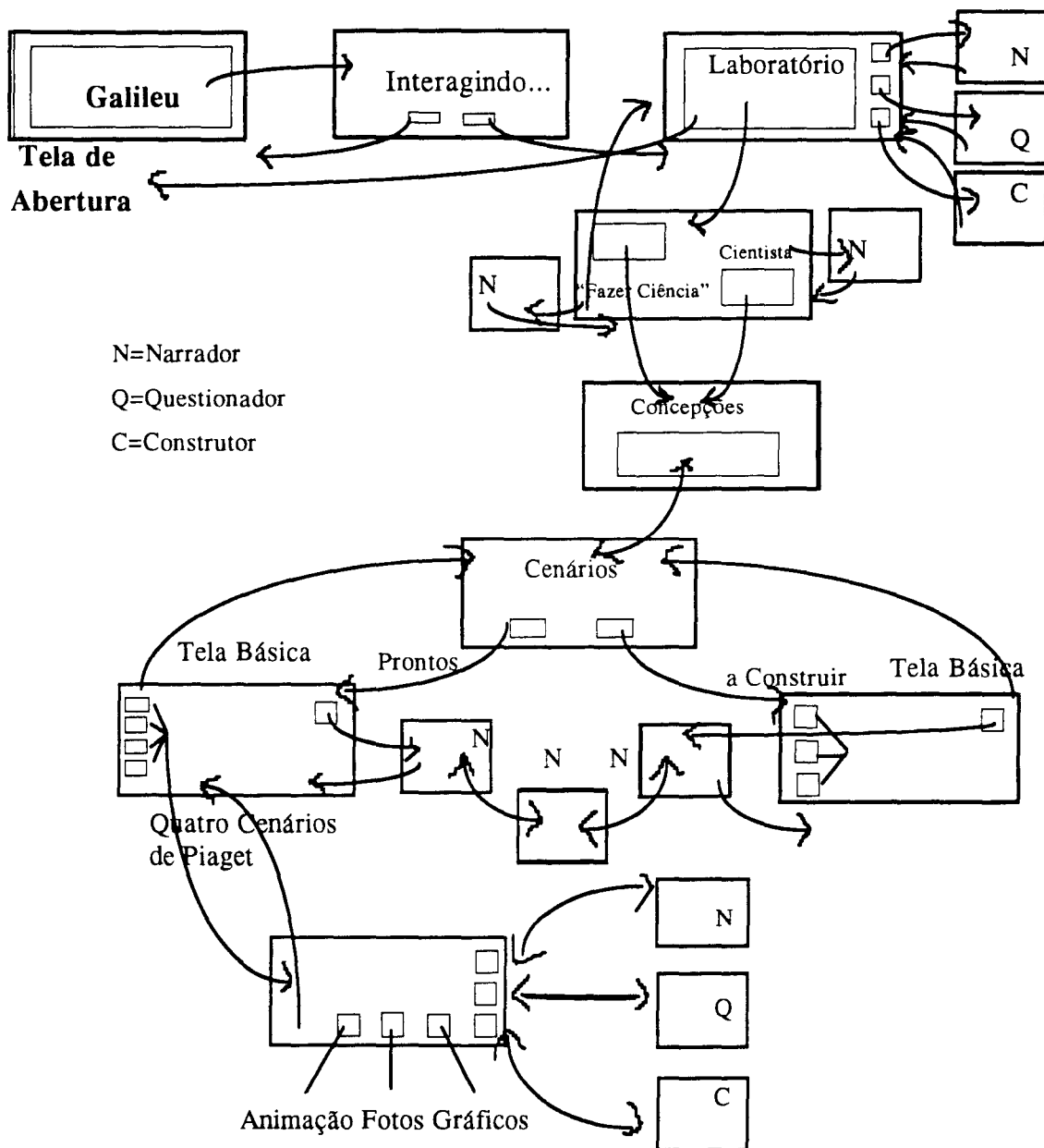


fig. 5.10: Estrutura Básica do Protótipo

5.1.3. Descrição das Ações dos Elementos de Suporte

A estrutura básica do protótipo, como descrita na subseção anterior, está destituída de “recheio”, isto é, nela não estão presentes os aspectos que dão sentido a lógica da aplicação, dentro do domínio considerado. Ou seja, sobre a estrutura da aplicação se faz necessário colocar a “substância”, ou melhor, o material estático de informação coerente com o tópico considerado. No protótipo, este material informativo está estreitamente relacionado com as ações dos elementos de suporte da arquitetura.

Como visto anteriormente, essas ações dos elementos equivalem a diversos contextos no protótipo. Esses contextos caracterizam os elementos e servem, naturalmente, como meio para as informações relativas ao tema tratado. Estas informações, que no parágrafo anterior são denominadas de *substância* ou *recheio* da aplicação, têm o conteúdo associado ao domínio e são consistentes em forma com a visão específica compartilhada por cada um dos elementos. De maneira geral, a forma das informações determina o tipo e a natureza do suporte de cada elemento, enquanto que o conteúdo deixa o suporte em consonância com o tópico considerado. A figura 5.11 esquematiza esses papéis dos elementos de suporte e serve como ponto inicial para as figuras subsequentes.

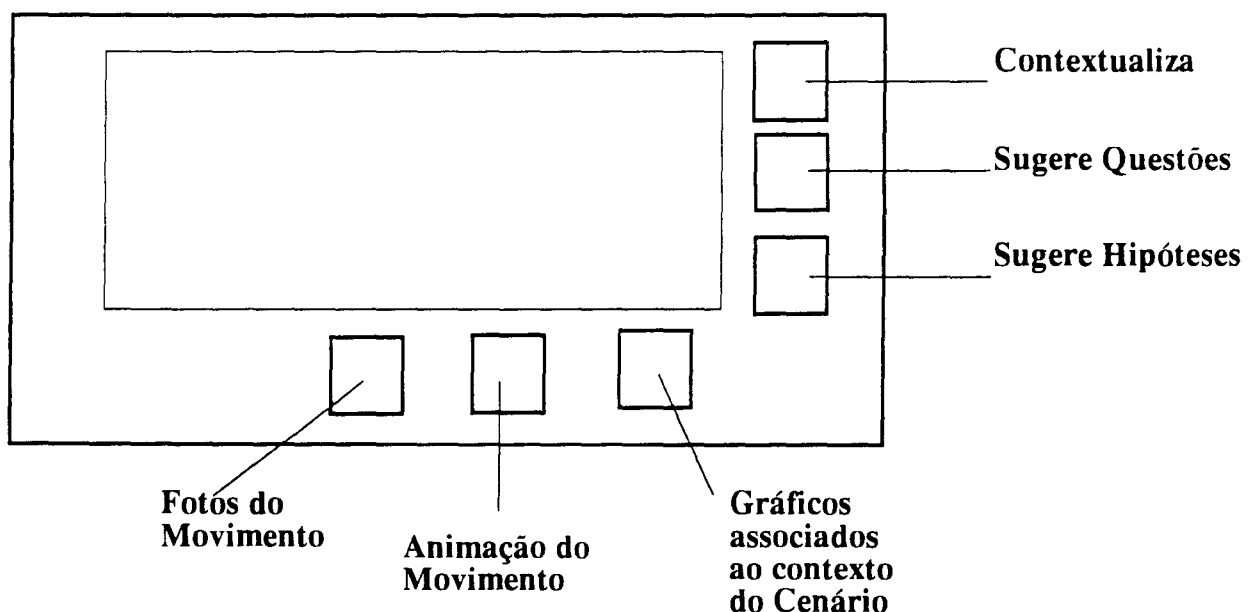


fig. 5.11: Os Elementos de Suporte e seus Papéis

As figuras que se seguem correspondem a telas do protótipo relacionadas a elementos da aplicação. Cada uma das telas ilustra tanto a forma quanto o conteúdo das ações, que caracterizam e personificam os elementos implementados. A figura 5.2, correspondente ao cenário do plano inclinado, funciona como tela de cenário central para todas as figuras apresentadas a seguir. Isto é, ao “redor” do cenário do plano inclinado estão presentes as ações dos elementos, consistentes em conteúdo ao cenário proposto, objetivando o suporte ao usuário.

A figura 5.12 está associada à tela do protótipo correspondente ao elemento que contextualiza a situação tratada. A tela caracteriza o personagem que desempenha o papel de Narrador, que através da prosa tenta aproximar o assunto considerado ao cotidiano do usuário, conectando o tema a outros. As telas do Narrador funcionam como um “parênteses” em relação a tela central de cenário, no caso a figura 5.2. Além disso pode servir como aprofundamento de determinadas palavras-chave, sublinhadas na tela, sensíveis ao mouse, que remetem o usuário a outro contexto na aplicação. De uma forma geral, o Narrador procura sempre que possível sensibilizar o aprendiz, para o fato de que a Física e seus laboratórios não são tão estranhos ou distantes assim.

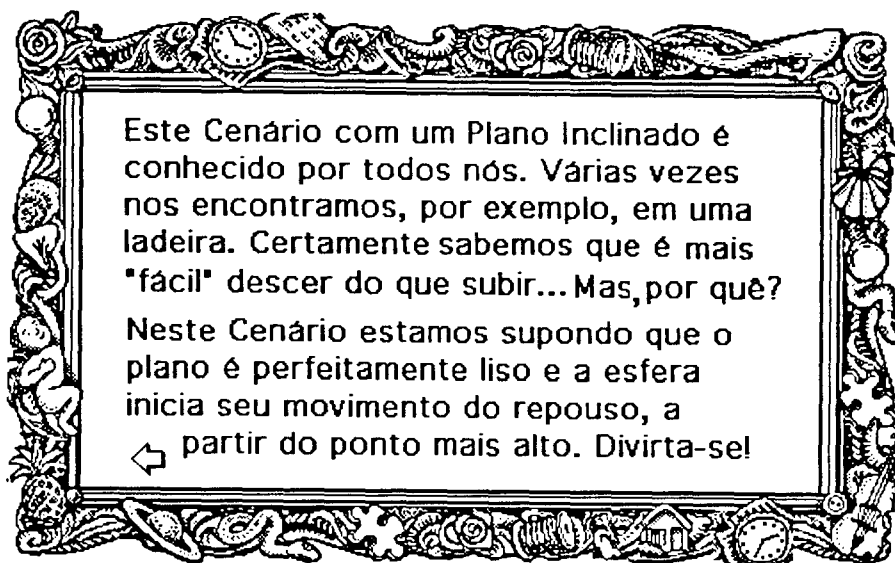


fig.5.12: O Narrador e o cenário do plano inclinado

A figura 5.13 corresponde à tela do elemento de suporte que propõe questões associadas ao cenário central. Essa tela é representativa do personagem que desempenha o papel do Questionador, que através de perguntas procura envolver o aprendiz numa determinada atividade. As telas do Questionador funcionam como um “trampolim” em relação ao cenário central considerado. Isto é, o envolvimento que o Questionador procura provocar inicia-se com “saltos” específicos a partir de cada questão, que podem ser selecionadas pelo aprendiz. Em realidade, cada questão selecionada tem um efeito distinto, remetendo usuário a vários contextos. Estes contextos se constituem em situações do protótipo, que também podem ser alcançadas por outras vias, propícias para o envolvimento do aprendiz no processo cíclico do investigador.

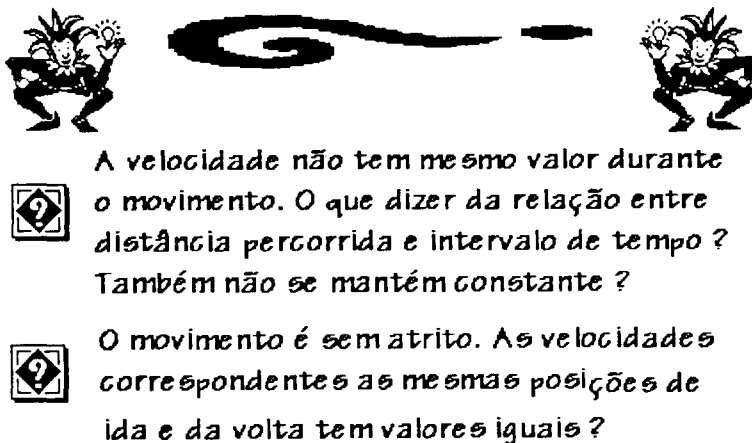


fig. 5.13: O Questionador e o cenário do plano inclinado

A figura 5.14 equivale à tela do elemento que incentiva a construção e verificação de hipóteses. A tela caracteriza o personagem que propõe idéias e suposições para serem formuladas e analisadas quanto a sua validade. Dessa forma, as telas do Construtor de hipóteses através de expressões gerais sintetizam o comportamento dos conceitos envolvidos no fenômeno tratado. Também funcionam como “trampolim” para o contexto experimental, propiciando “saltos” a partir de cada hipótese construída. A função de “trampolim”, descrita no parágrafo anterior, somada à possibilidade de elaborar hipóteses por meio de sentenças incompletas fornece ao usuário “ganchos” para o envolvimento no processo de criação/verificação de hipóteses.

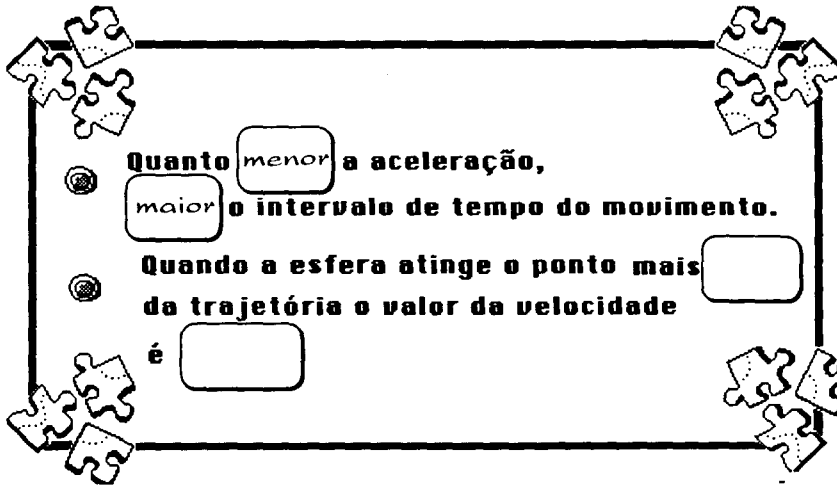


fig. 5.14: O Construtor e o cenário do plano inclinado

A figura 5.15 ilustra a forma implementada para a entrada de dados e a manipulação quantitativa das variáveis escolhidas, para um possível movimento de ida e volta no cenário do plano inclinado. A aceleração e uma entre as três variáveis (posição, tempo e velocidade), selecionada pelo usuário, desempenham o papel de variáveis independentes das outras duas. A partir da seleção das variáveis independentes o usuário pode definir seus valores, por intermédio da manipulação do mouse, sobre a escala dos valores possíveis, representada pela reta horizontal, situada a esquerda ao alto da tela.

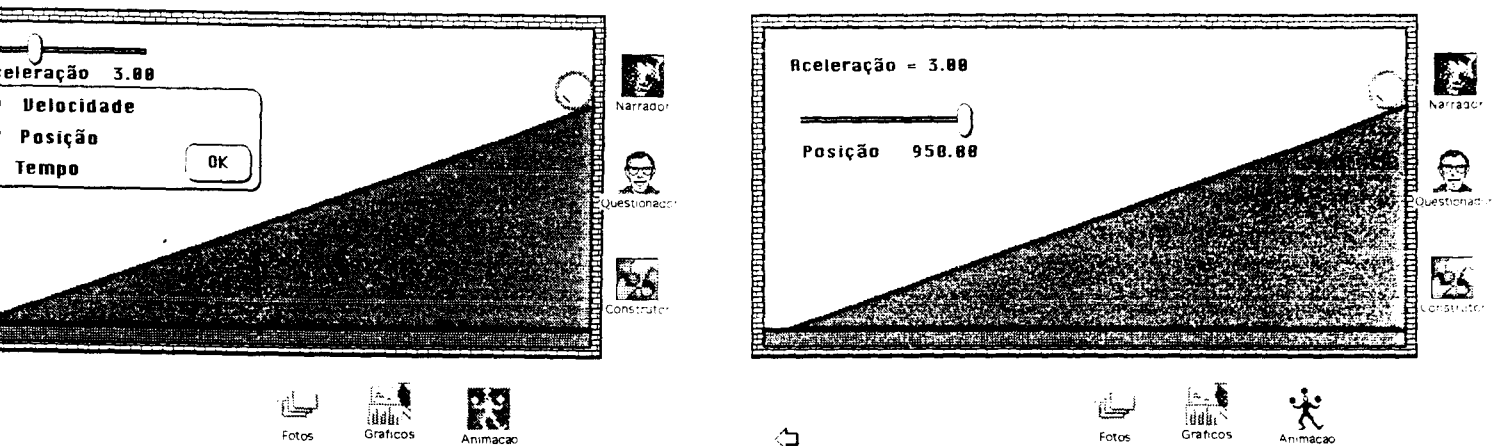


fig. 5.15: Entrada e Manipulação dos Dados

A escolha e o ajuste das variáveis possibilita a realização de simulações do movimento, baseado no cenário apresentado. Uma dessas simulações pode ser visualizada pela animação do movimento que, através de um modelo quantitativo subjacente, procura aproximar conceitos envolvidos na descrição do movimento com o fenômeno físico observado na realidade. A apresentação da animação é amparada pelos elementos de suporte do protótipo, que procuram auxiliar ao aprendiz a observar e interpretar o movimento apresentado. Além disso, o protótipo ao oferecer outras formas de representações do mesmo fenômeno tenta tornar mais fácil a conexão e a interligação entre os conceitos representados.

As outras formas de representações oferecidas pelo protótipo correspondem aos gráficos e às fotos dos movimentos, representados nas figuras 5.16 e 5.17 respectivamente. O protótipo procura superar as dificuldades de interpretação da linguagem cartesiana (McDermott, 1987), possibilitando algumas situações que a nosso entender facilitam a interpretação do estudante. Por exemplo, no protótipo é possível compartilhar a representação gráfica com a animação ou com as fotos. Além disso, todos os possíveis gráficos dos movimentos para o cenário considerado são apresentados simultaneamente.

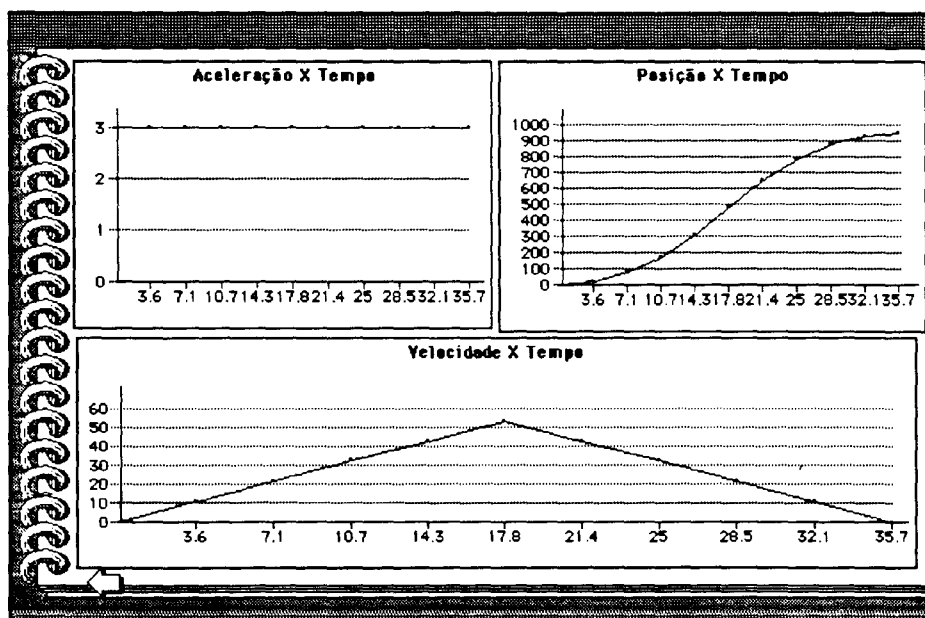


fig. 5.16: Gráficos do Movimento

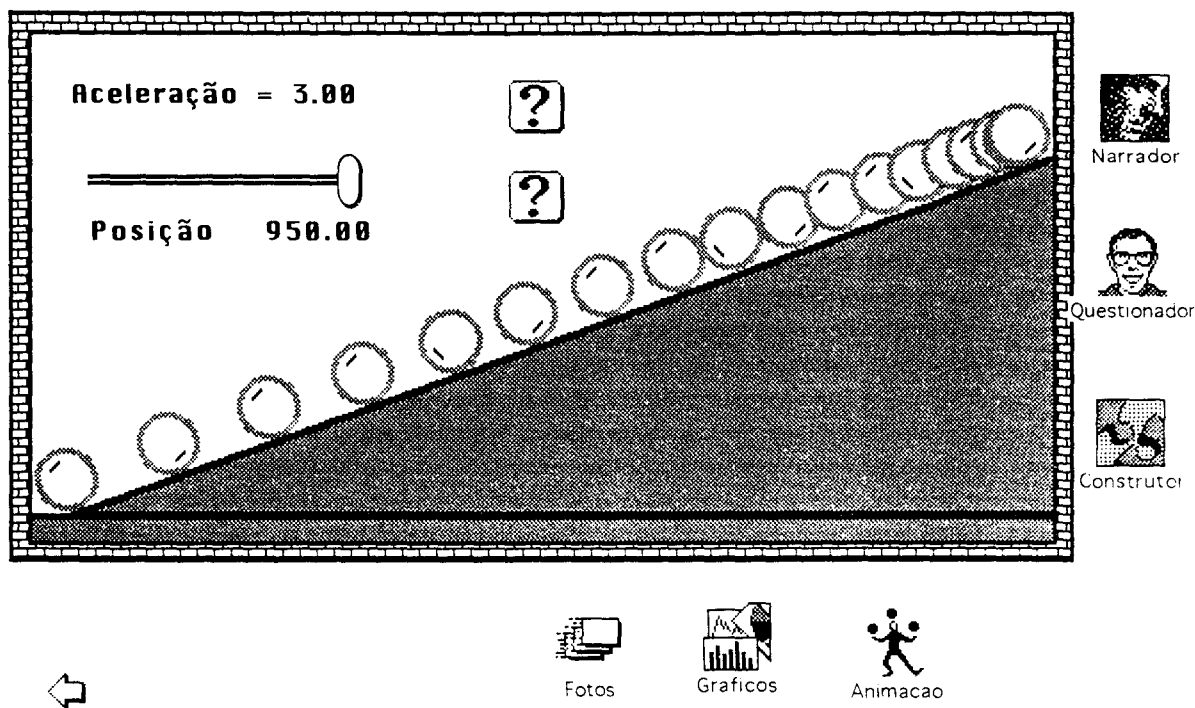


fig. 5.17: Fotos do Movimento

As fotos correspondem a uma representação alternativa para o movimento. Esse tipo de representação, utilizado em bons livros didáticos, (Caniato 1979, Feynman 1963, Hamburger 1981), consistem em fotografias estroboscópicas ou de múltipla exposição que descrevem e registram as posições sucessivas do objeto móvel em instantes de tempo bem definidos. Estes registros complementam a animação e permitem uma análise mais profunda de aspectos relacionados ao movimento, tais como, existência de aceleração, conservação de velocidade, posições de velocidade mínima, entre outros.

5.2. Aspectos de Implementação do Protótipo

Não há nada mais estimulante do que
a inquestionável capacidade que tem o Homem
de elevar sua vida graças a um empenho consciente.
Thoreau

Nesta seção são descritos o ambiente de implementação utilizado e a estrutura básica do protótipo em relação aos aspectos de implementação considerados.

5.2.1. O Ambiente de Implementação

O ambiente de implementação utilizado para o desenvolvimento do protótipo consistiu no sistema de prototipagem denominado *HyperCard*, versão 2.1, compatível com a plataforma *Macintosh*. O *HyperCard*, segundo Vaughan (1993), consiste na ferramenta de autoria de multimídia mais amplamente disponível, pois era enviado em sua versão integral para todo usuário de *Macintosh* até 1991, sem custos, como estratégia de marketing da *Apple*. Conforme Kawasaki (1990), o *HyperCard* corresponde ao primeiro sistema de prototipagem para desenvolvimento em multimídia.

Em linhas gerais, o ambiente *HyperCard* é um sistema de hipertexto, de propósito geral, projetado num sofisticado ambiente gráfico, orientado a eventos. Heckel (1991), classifica o sistema *HyperCard* como baseado na metáfora de escaninho ou livro, constituído por inúmeros cartões ou páginas. Dessa forma, através dessa analogia familiar, a comunicação fica facilitada e o desenvolvimento de aplicações torna-se mais simples.

Segundo Conklin (1987), os principais componentes de qualquer sistema de hipertexto são os nós que armazenam as informações e as ligações que criam associações entre elas. A ligação entre os nós é a essência do hipertexto, pois a associação entre informações relacionadas é que permite a organização das idéias de forma modularizada e não linear (Nielsen, 1990). Vários autores sugerem a utilização de sistemas de hipertextos combinados com sistemas computacionais baseados em simulação, no contexto educacional (de Jong 1991, Pagano 1992). Ao utilizarmos o *HyperCard* também consideramos esta integração de hipertexto e simulação mas, como descrito anteriormente, em uma arquitetura de ambientes exploratórios com um suporte não diretivo.

No *HyperCard* todo documento, que corresponde a um arquivo em disco no *Macintosh*, é denominado de *stack*. Todo *stack* é constituído por um conjunto de *cards*, que correspondem aos nós do *HyperCard*. Neste sistema de hipertexto, as informações são apresentadas nos *cards* e estão mais especificamente em áreas delimitadas, denominadas de *fields*. Em relação a apresentação da informação, diversos *cards* podem compartilhar das mesmas características das diversas mídias. Essas características em comum identificam estes *cards* como conjunto, pois eles compartilham dos mesmos *backgrounds*, da mesma superposição de níveis, que compõe a apresentação da informação. Como todo sistema de hipertexto, existem as associações entre os nós que no *HyperCard* são controlados pelos *buttons*. Quando um *button* é selecionado, por exemplo, com o *mouse*, um *script* é ativado. *Scripts* correspondem a ações, relacionadas com mensagens trocadas entre os objetos do *HyperCard*. As ações podem ser inúmeras, tais como, a mudança para outro *card* ou *stack*, geração de som, acionamento do sistema CD-ROM, escrita de um texto em um *field* ou integração com outras aplicações do *Macintosh*. Desta forma, o sistema tem associada uma linguagem de programação para desenvolvimento de aplicações, orientada a objetos, que manipula todo o ambiente gráfico sofisticado do *HyperCard*, denominada *HyperTalk* (Goodman 1988, Apple 1991). As figuras subsequentes, 5.18 e 5.19, respectivamente, ilustram os cinco objetos que constituem o ambiente *HyperCard* e a estrutura hierárquica da passagem dos eventos entre os objetos.

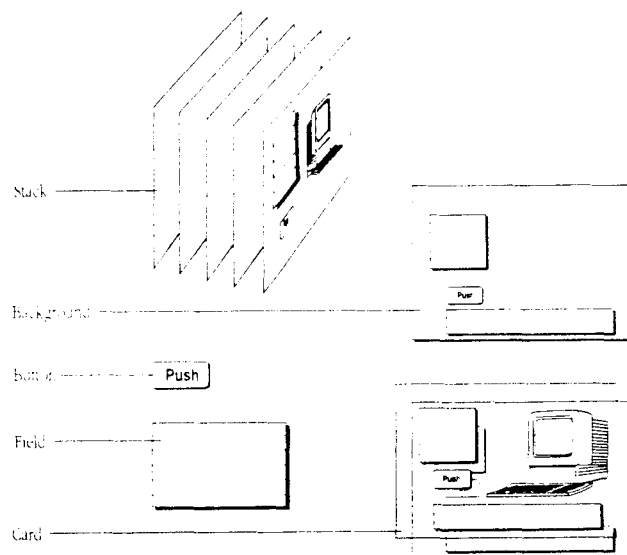


fig. 5.18: Objetos do *HyperCard*

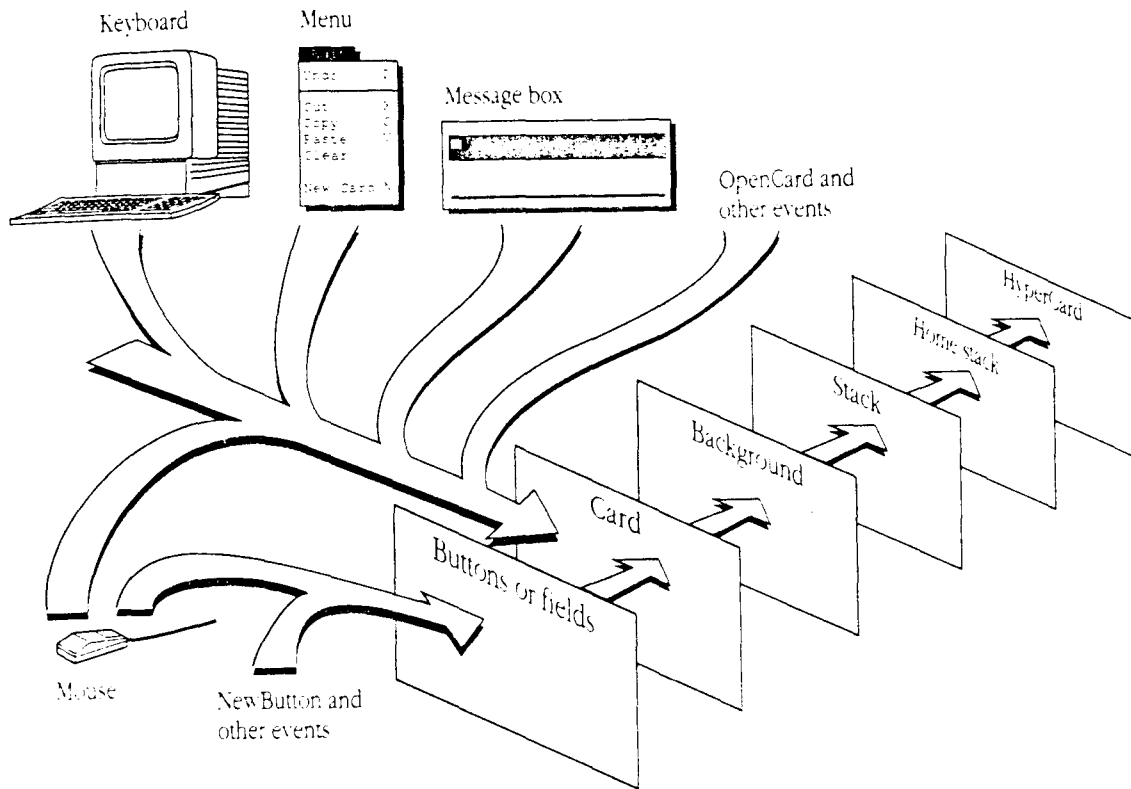


fig. 5.19: Hierarquia da Passagem dos Eventos

Várias aplicações, dentro do contexto dos processos de ensino/aprendizado, já foram desenvolvidos utilizando o ambiente *HyperCard* (Millar 1991, Pagano 1992, Whitelock 1993, Svanaes 1990, Cole 1990, Bottino 1993, Hepp 1993, Gomes 1989, Quinn 1991, Giannotti 1991). Todas essas aplicações, em realidade, consistem em protótipos com estruturas razoavelmente simples. Na maioria dos casos, o desenvolvimento dessas aplicações tem como objetivos a investigação e a análise, em relação tanto a adequação ao contexto educacional quanto a forma de interação usuário-sistema.

5.2.2. A Estrutura de Implementação

A aplicação desenvolvida para exemplificação da arquitetura proposta possui uma estrutura básica de implementação simples, baseada na metáfora de escaninho utilizada pelo ambiente *HyperCard*. Em realidade, a metáfora do ambiente aparece implicitamente pela utilização dos objetos do *HyperCard*. Basicamente, em relação aos aspectos de implementação, todos os elementos que compõem o protótipo são objetos do *HyperCard*, que herdam relações e propriedades associadas à classe de objetos considerada.

Vaughan (1993) apresenta alguns ambientes de implementação, dentre eles o *Toolbook*, o *Zoomracks*, o *SuperCard* e o *Visual Basic*, que de forma semelhante ao *HyperCard* são baseados na mesma metáfora. Isto é, estruturalmente as aplicações desenvolvidas a partir desses ambientes são como páginas de um livro, como fichas em um escaninho ou como formulários em um projeto. As aplicações, dessa forma organizadas, têm uma estrutura de implementação semelhante, no que diz respeito a natureza dos elementos utilizados. Afinal, com exceção da nomenclatura dos objetos e do tipo de linguagem de programação associada, todos os ambientes compartilham dos mesmos objetos básicos. A saber: *Stacks*, *Cards*, *Buttons* e *Fields*. Na figura 5.20 estamos propondo diversos símbolos para descrição desses objetos comuns aos diversos ambientes baseados na metáfora de escaninho ou livro.

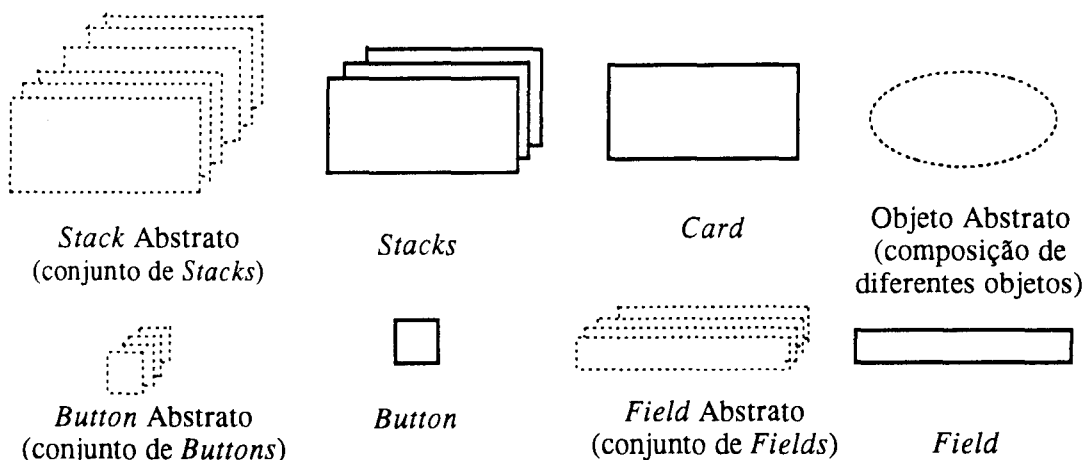


fig.5.20: A Descrição e seus Símbolos

Em relação ao protótipo desenvolvido, no contexto da arquitetura proposta, seus elementos têm correspondência direta com as partes constituintes da interface estendida, representada na figura 4.5, do capítulo anterior. Em linhas gerais, a aplicação desenvolvida abrange inúmeros cenários, que correspondem aos ambientes experimentais sobre os quais o usuário através da simulação manipula os conceitos envolvidos. No protótipo, os cenários têm papel central em relação aos outros elementos implementados que, de forma geral, correspondem aos componentes associados à representação do fenômeno tratado e aos agentes de suporte, que incentivam o aprendiz a interagir com o sistema de forma ativa, sugerindo indagações e/ou construção de hipóteses.

De forma esquemática, em um nível alto de descrição, utilizando os símbolos apresentados anteriormente, podemos representar a estrutura básica de implementação do protótipo pelo diagrama da figura 5.21.

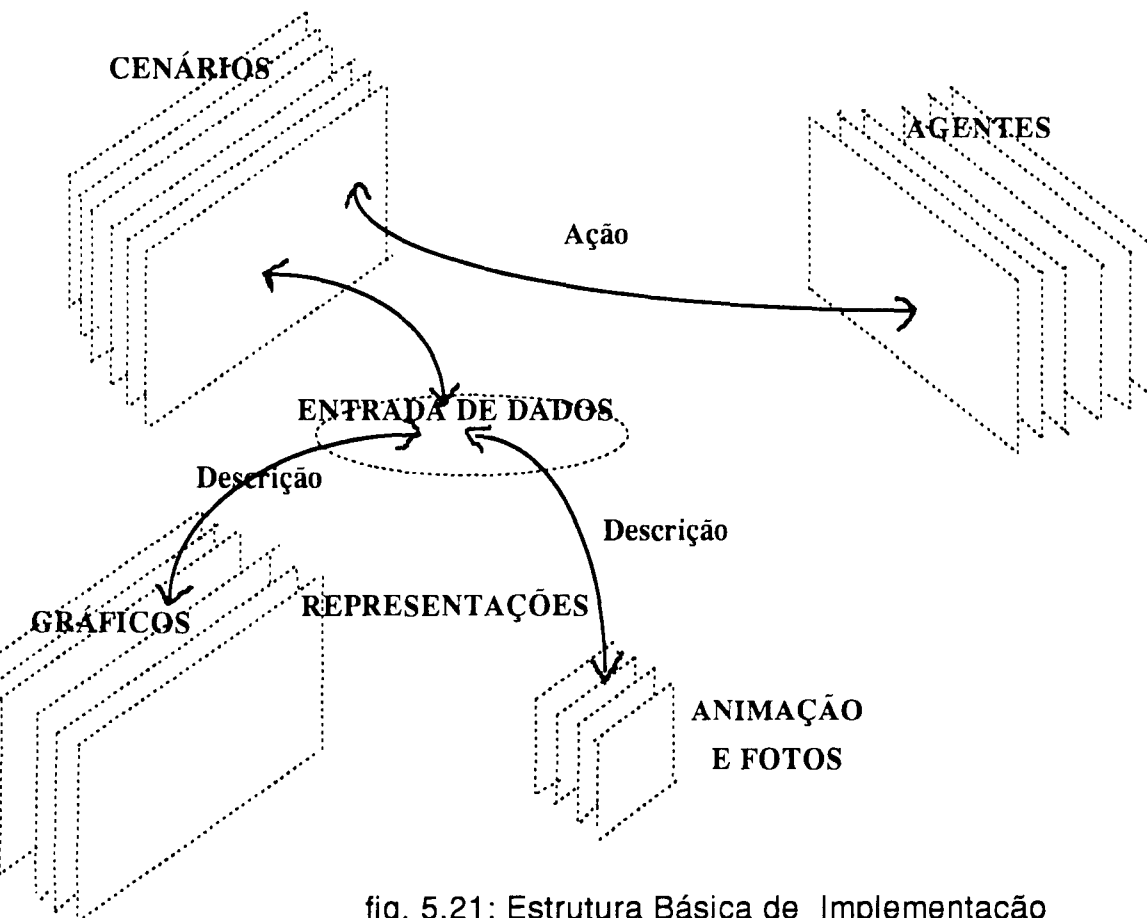


fig. 5.21: Estrutura Básica de Implementação

Os cenários possíveis da aplicação, representados na figura 5.21 como uma classe abstrata, podem ser agrupados em duas subclasses de *stacks*. Uma corresponde aos cenários prontos, associados às quatro tarefas de Piaget, oferecidas ao usuário como quatro cenários experimentais. A outra classe corresponde aos cenários a construir, que pela manipulação dos blocos de cenário possibilita ao usuário a composição de diversos cenários experimentais. A figura 5.22 esquematiza as associações de generalização entre as classes e as relações de agregação (Rumbaugh, 1991) entre os objetos de Cenário representados por *stacks*, no último nível da hierarquia.

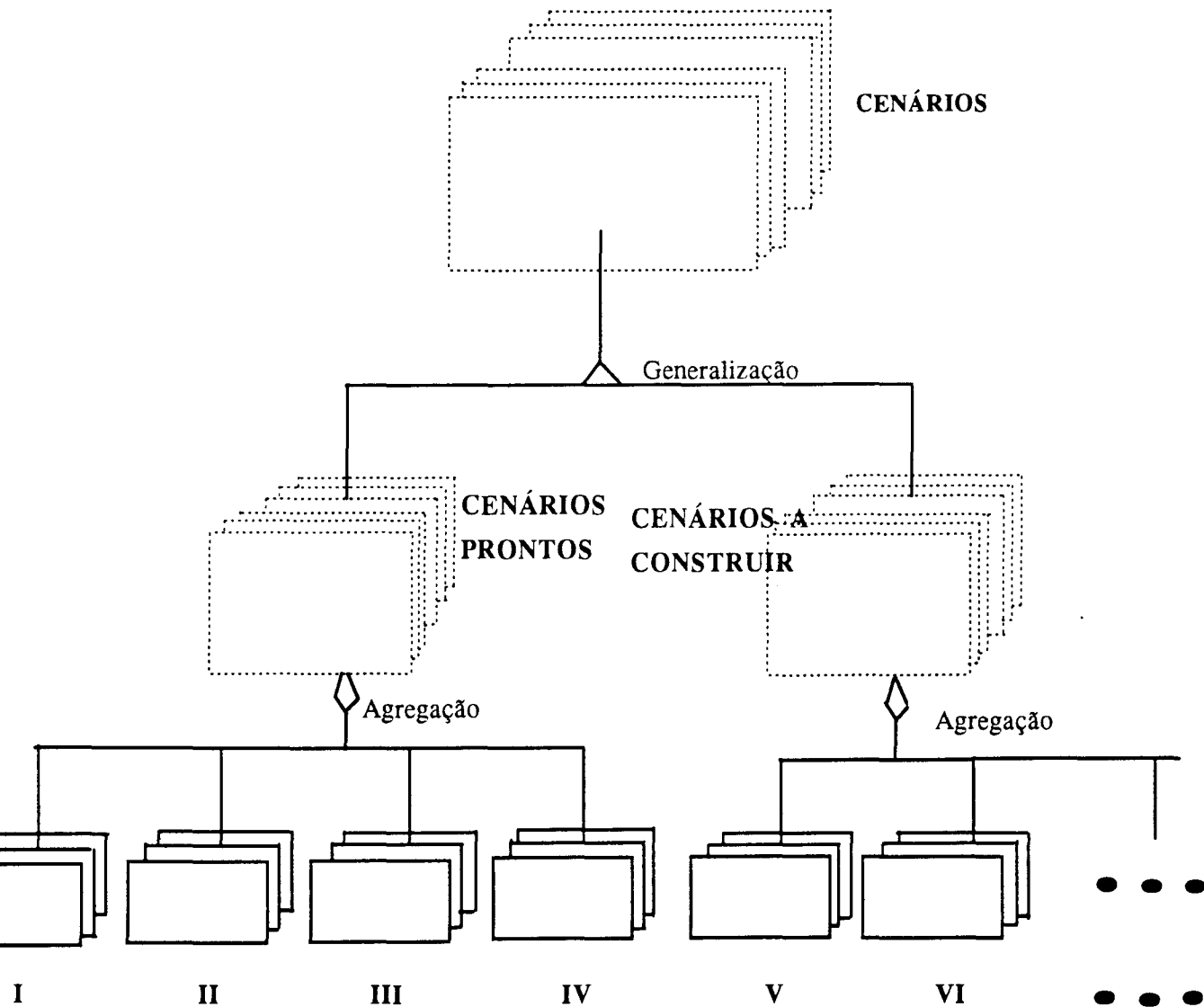


fig. 5.22: Descrição da Classe Cenários

Os agentes de suporte, representados na figura 5.21, no contexto do protótipo desenvolvido, podem ser especializados em três classes diferentes de *stacks*. Cada uma destas classes são compostas por vários *cards*, que correspondem aos objetos que apresentam tanto o material estático de informação do tópico considerado quanto os *buttons* que disparam as ações correspondentes dos elementos de suporte, discutidos anteriormente. O diagrama da figura 5.23 descreve a estrutura da classe Agentes e as relações de agregação, com suas multiplicidades (Rumbaugh, 1991).

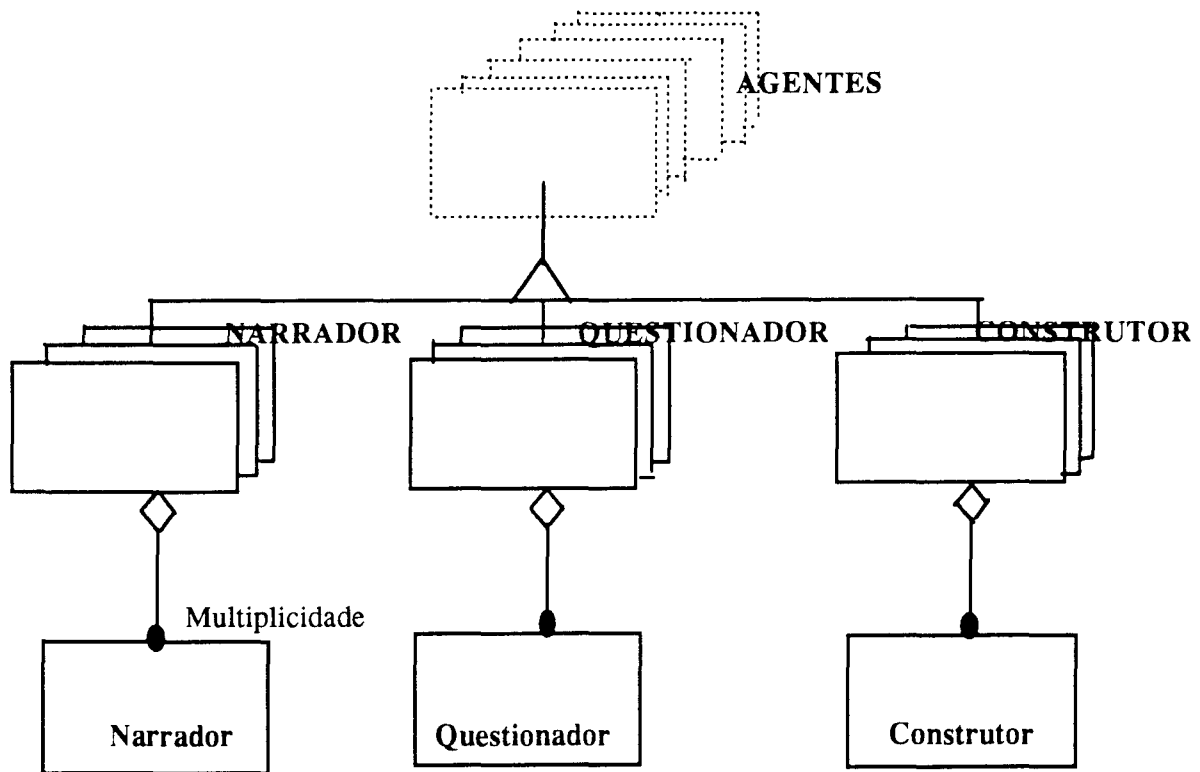


fig. 5.23: Descrição da Classe Agentes

As representações oferecidas pelo protótipo, esquematizadas na figura 5.21, correspondem a classe de *stacks* associadas aos gráficos dos conceitos envolvidos no cenário e a classe de *buttons*, que no protótipo são especializadas nos objetos *buttons* de animação e de fotos dos fenômenos. A figura 5.24 apresenta as generalizações que descrevem a classe das representações.

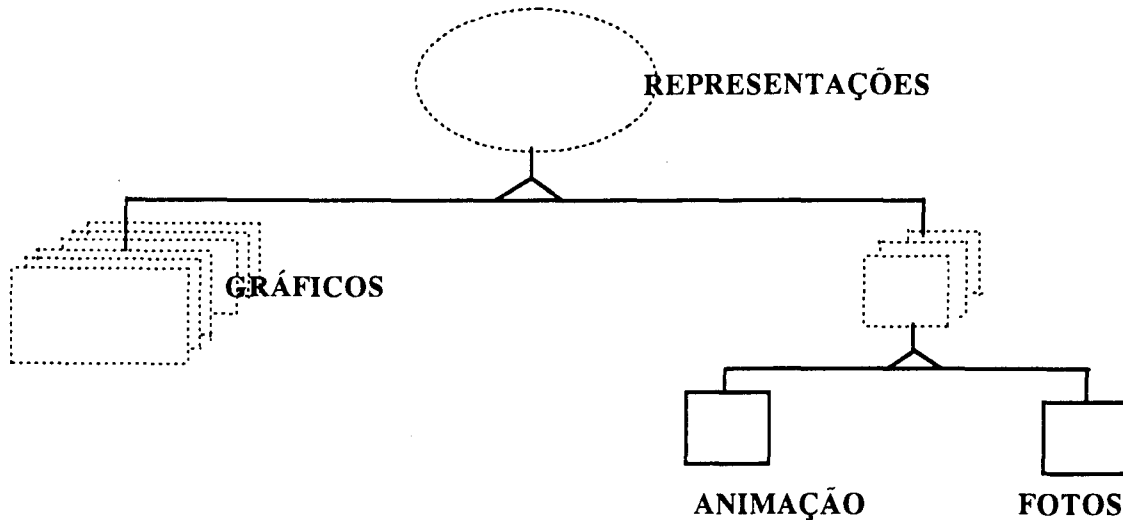


fig. 5.24: Descrição da Classe Representações

Além disso, relacionado com a classe Representações, como apresentado no diagrama da figura 5.21, a associação com a classe Cenários é feita através de um elemento operacional, responsável pela manipulação quantitativa dos valores das variáveis envolvidas. Este elemento característico de todos ambientes baseados em simulação, representa a entrada de dados da aplicação, sendo implementado como um conjunto de *buttons* e *fields*, apresentado na figura 5.25.

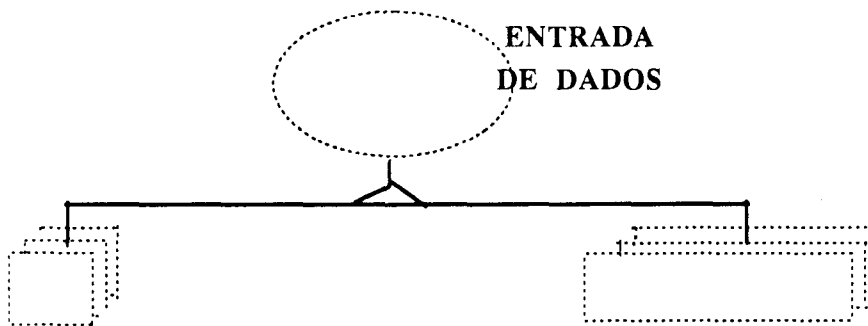
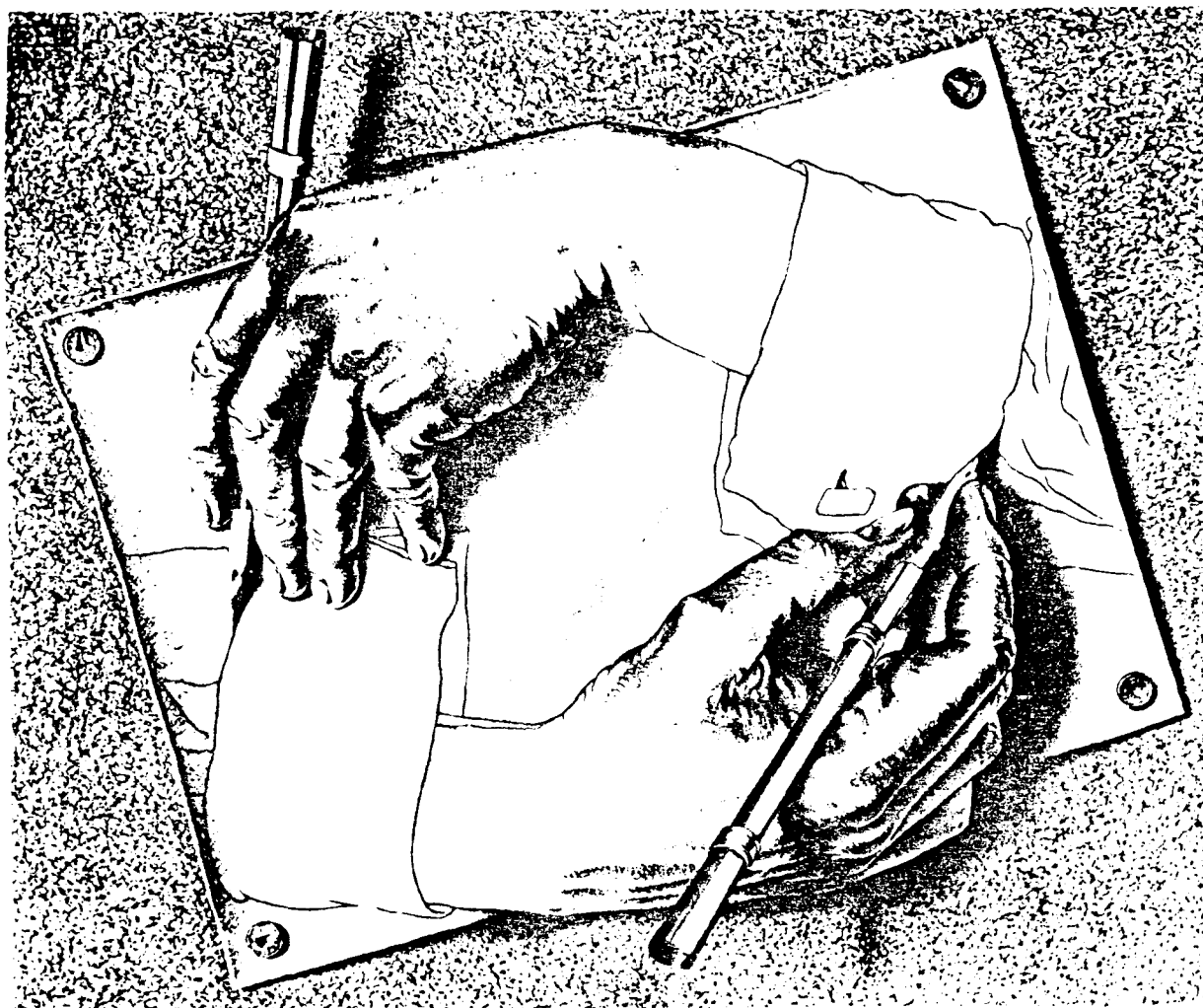


fig. 5.25: Descrição da Classe Entrada de Dados

Como observação final devemos apontar que a descrição da estrutura de implementação do protótipo, apresentada nesta seção, mesmo com o objetivo de enfatizar aspectos relacionados com os elementos de implementação mantém consistência e de certa forma complementa o aspecto funcional da aplicação apresentado na seção 5.1.

CAPÍTULO 6

Estudo Piloto



Neste capítulo são relatados alguns dos resultados obtidos, a partir da observação da interação usuário-sistema. A investigação da forma de utilização do protótipo desenvolvido, como veremos a seguir, além de auxiliar na elaboração de algumas respostas para questões levantadas neste trabalho fornece subsídios que fundamentam a arquitetura proposta.

A importância da observação e da análise da interação dos usuários com sistemas computacionais é ressaltada em inúmeros trabalhos na literatura (Gomoll 1990, Hix 1993, Apple 1989, Heckel 1991), que de forma semelhante enfatizam a necessidade de posicionar o usuário no centro do processo de desenvolvimento de aplicações tecnológicas. Afinal, o usuário corresponde ao elemento final e consumidor das aplicações desenvolvidas. Dessa forma, segundo Heckel (1991), a aplicação torna-se com maior sentido se adequa-se ao usuário e corresponda a algumas de suas muitas expectativas.

Como destaca Gomoll (1990), o envolvimento dos usuários no processo de desenvolvimento de aplicações além de ser essencial em termos de avaliação do trabalho implementado propicia invariavelmente diversas descobertas e revelações, que só a perspectiva do usuário pode fornecer. A citação de Norman, transcrita abaixo, contextualiza muito bem a importância do papel do usuário para o desenvolvimento de aplicações:

“Desenvolvedores podem pensar que são usuários típicos, e talvez fossem quando iniciaram, mas depois que tiveram problemas com a tarefa e realizaram o *design* do sistema a ser implementado, eles não são mais “típicos”, eles não podem mais compreender o usuário médio: eles sabem demais.” (Rheingold 1990, p. 10)

Mais especificamente, no contexto deste trabalho, a observação dos usuários nos possibilita uma investigação em relação a três tópicos básicos que permeiam nossa pesquisa. Em linhas gerais, estamos interessados na avaliação do *design* da interface desenvolvida, no diagnóstico dos conhecimentos intuitivos ou espontâneos dos sujeitos em relação ao domínio considerado e sua interferência com o conhecimento formal e, finalmente, na verificação *in loco* do engajamento do usuário com o protótipo. A observação e a análise da interação dos usuários, tendo como pano de fundo estas três questões, como veremos na próxima seção, permitem em certa medida uma verificação da arquitetura do “fazer ciência”.

A análise da utilização do protótipo foi realizada a partir da abordagem metodológica da investigação qualitativa, citada em Apple (1989) e Gomoll (1990). Neste tipo de abordagem há uma tentativa de compreender a dinâmica geral da utilização de sistemas computacionais por meio de uma observação subjetiva do processo de interação do usuário. A técnica proposta por Gomoll (1990) baseia-se na elaboração de tarefas ao usuário, que ao “pensar alto” durante a realização das mesmas fornece informações a determinadas questões subjacentes à análise.

Neste estudo piloto foram considerados três tipos de sujeitos, em duas situações distintas. Os sujeitos escolhidos para o estudo corresponderam a alunos dos últimos anos do primeiro e segundo grau e uma universitária, identificados neste trabalho como A, B e C, respectivamente. As atividades, realizadas em duas etapas, foram conduzidas em uma situação individual de investigação, com um acompanhamento constante mas sem qualquer tipo de interferência, que pudesse alterar o andamento do experimento.

Num primeiro momento, foi entregue aos sujeitos em oito folhas de atividade, cada qual com tarefas específicas, que deveriam ser respondidas sem o emprego do computador. Estas folhas, que estão no anexo I, remetem à situações de investigação e diagnóstico dos conhecimentos dos sujeitos em relação aos conceitos básicos envolvidos nos cenários considerados. Estes cenários, descritos na próxima seção, equivalem aqueles implementados no protótipo e correspondem a quatro situações propostas por Piaget (1970), originárias de seu trabalho sobre as concepções espontâneas das crianças em relação ao movimento e a velocidade. Conforme Trowbridge (1980), essas situações abrangem os principais conceitos da Física dos movimentos e propiciam “ganchos” para averiguação das concepções intuitivas dos estudantes, principalmente para aqueles de primeiro e segundo grau. Nesta primeira etapa, sem qualquer tipo de suporte, os sujeitos ao responder as questões propostas fornecem entre outros aspectos seu próprio *background* no domínio, propiciando um patamar para comparações em relação ao segundo momento da observação. Neste segundo momento o protótipo desenvolvido foi apresentado aos sujeitos, que procuraram pela interação com o sistema responder as mesmas questões apresentadas anteriormente, retratadas em cinco folhas de atividade, específicas para observação da interação usuário-protótipo, que estão no anexo II.

6.1. Análise da Interação Usuário-Sistema

“O que diz do respeito ao pinheiro aprenda do pinheiro, o que diz respeito ao bambu aprenda do bambu”. Provérbio Japonês.

O material extraído das observações dos sujeitos, para efeito de apresentação, foi analisado em relação aos três tópicos anteriormente mencionados. A síntese dessas informações, uma vez reunidas, faz criar uma visão geral das ações dos sujeitos na utilização do protótipo, o que implicitamente colabora para uma verificação da arquitetura proposta.

Interface do protótipo

Durante a interação com o protótipo, na segunda etapa do processo de observação, foram identificadas determinadas situações levantadas pelos sujeitos que estão relacionadas à interface implementada da aplicação. A seguir são apresentadas as principais questões observadas na interação, relativas a interface da aplicação.

Logo no início da interação, os sujeitos A e B demonstraram dificuldades em relação aos pontos da tela correspondentes aos *buttons* do ambiente. Essas dificuldades apareceram nas telas do protótipo onde os *buttons* estão implícitos nas próprias figuras, que dessa maneira disparam as ações para mudança de tela. É necessário observar, que antes da interação com o protótipo foram apresentados os elementos e a metáfora do ambiente *HyperCard*. Dessa maneira, a dificuldade estava na identificação dos *buttons* presentes na tela e não no conceito em si. Em relação a este aspecto, para ambos os sujeitos, foi necessário uma intervenção para o prosseguimento da observação. Foi constatado que esta dificuldade aumentou um sentimento já existente de insegurança no sujeito B, que em uma outra situação diante de um *button* explícito, representado por uma seta, questionou a existência e utilidade do elemento, demonstrando receio e ausência de expectativa em relação a ação associada ao *click* com o *mouse* do elemento em questão.

Outra questão, também associada às telas introdutórias do protótipo, tem relação a ansiedade dos sujeitos quando diante de textos explicativos. Esta pressa identificada pode significar tanto uma ansiedade para explorar os cenários quanto a um excesso de texto apresentado pelo protótipo.

Em relação aos agentes de suporte algumas dúvidas foram suscitadas. O elemento construtor não foi “percebido” tanto funcional quanto operacionalmente de início pelos sujeito A, que incentivado a descobrir compreendeu sua função, exclusivamente pela manipulação, se “divertindo” na seleção das palavras chaves das hipóteses apresentadas. O elemento Narrador despertou interesse no sujeito C, pelo seu papel de contextualização, que gostaria que houvesse uma quantidade maior de texto associado aos contextos considerados.

Em relação às representações as animações foram as que despertaram maior interesse, seguido pelas fotos. O sujeito B resumiu o sentimento presente associado aos gráficos do movimento: “...me lembra que existe Matemática, e eu detesto qualquer coisa de Matemática”. Entretanto, o mesmo sujeito, como veremos mais tarde, utilizou diversas vezes o gráfico como forma de confirmação de suas respostas.

Em relação ao aspecto icônico da aplicação uma situação observada deve ser comentada. Em determinada altura, ao selecionar as variáveis e manipular os valores associados o usuário A exclamou: “Mas tudo neste programa é usando isso (no caso o *mouse*), é? Eu pensei que só tivesse o teclado!” O interessante é que a fala do sujeito representou alívio, demonstrando certa repulsa ao teclado e atração a manipulação direta e a interfaces icônicas, certamente pela facilidade de uso e rapidez nas respostas.

Concepções intuitivas dos sujeitos

O primeiro estágio de investigação consistiu na identificação das concepções espontâneas dos sujeitos, através das atividades propostas. Estas atividades tiveram como base quatro tarefas de Piaget (1970), estudadas por Trowbridge (1980) e implementadas no protótipo (figura 5.8). A seguir são apresentadas as principais observações em relação as concepções intuitivas dos sujeitos.

Os dois primeiros cenários considerados tratam de movimentos independentes simultâneos de duas esferas, cada uma em um plano horizontal idêntico, sem atrito. No cenário I as velocidades são síncronas, com os movimentos iniciando-se no mesmo instante de tempo enquanto que no cenário II os movimentos são em sucessão, iniciando-se em instante de tempo diferentes. Os dois últimos cenários, correspondentes aos cenários III e IV, tratam do movimento de uma esfera em um plano horizontal e em um plano inclinado sem atrito, respectivamente.

Inúmeras situações interessantes surgiram, a partir dos desenhos dos cenários feitos pelos sujeitos. Dentre essas situações é importante observar o fato relacionado com a duração do movimento. Na opinião do sujeito B, nos três primeiros cenários, o movimento terminaria ao final da trajetória. Isto é, desta forma, o sujeito associa a duração do movimento com o comprimento do percurso. Na interação com o protótipo esta concepção intuitiva foi confrontada, pois nos cenários implementados o movimento pode ser de ida assim como de volta. A inconsistência da idéia do estudante foi percebida por ele mesmo, através do uso do protótipo pela manipulação dos valores das variáveis. Após algum tempo de experimentação, no cenário II do protótipo, o mesmo estudante observou de forma consistente: “o movimento dura mais, se aumento o tempo ou a posição!”.

Ainda em relação ao cenário II foi identificado, nos sujeitos A e B, uma confusão entre os conceitos de posição e velocidade. Esta situação veio à tona quando foi solicitado aos sujeitos, no primeiro estágio de investigação, determinar qualitativamente os valores das velocidades das esferas no instante de ultrapassagem. Para ambos os sujeitos as velocidades são iguais naquele instante. Depois, usando o protótipo, os sujeitos foram confrontados com a mesma questão. O sujeito B, pela manipulação dos valores, pode perceber que as velocidades são constantes, repensando sobre sua resposta anterior: “se as velocidades quando há ultrapassagem não são iguais, então as posições são iguais”. O interessante é que esta confusão conceitual não aparece quando, na primeira etapa, no cenário III, os sujeitos calculam o valor da velocidade, a partir dos valores numéricos de posição e tempo, sugerindo uma maior facilidade em decorar fórmulas do que entender a relação conceitual das variáveis envolvidas no movimento

Nos três primeiros cenários, nas duas oportunidades de investigação, nenhum dos sujeitos fez qualquer tipo de comentário em relação ao conceito de aceleração. Apesar dos sujeitos B e C observarem que nestes cenários o valor da velocidade é constante não houve qualquer tipo de associação com o valor nulo da aceleração. Quando manipulando o cenário IV da aplicação a situação modificou-se. Os sujeitos A e C logo observaram o aspecto relacionado a variação do valor da velocidade durante o movimento e a existência de aceleração. Entretanto, para o sujeito A o ponto da trajetória mais baixo corresponde aquele onde o valor da velocidade é mínimo, pois segundo A: “o movimento sai lá de cima e termina lá em baixo”. Mesmo ao interagir com o protótipo e verificar que o movimento pode não terminar “lá em baixo”, o sujeito A persistiu com sua idéia: ponto mínimo, velocidade mínima. Já para o sujeito C, as fotos serviram como instrumento de confirmação de sua idéia inicial do movimento ser variável.

O sujeito B, apesar de ter expresso repúdio aos gráficos e a Matemática, foi o sujeito que mais usou esta representação. Através dos gráficos do protótipo pode perceber o caráter variável da velocidade, dizendo de forma consistente: “a curva é uma reta, mas não é exatamente reta (horizontal)”. Os sujeitos B e C, também através dos gráficos, compreenderam a questão que diz respeito aos valores de velocidade da esfera correspondentes às mesmas posições de ida e de volta. Inicialmente, na primeira fase de investigação, os três sujeitos argumentaram intuitivamente que as velocidades eram diferentes.

Engajamento do usuário

A interação com o protótipo propiciou diversas observações em relação ao grau de engajamento do usuário na tarefa, que indiretamente nos permitiu avaliar o ambiente de suporte fornecido ao usuário. Esta camada de suporte, composta pelos agentes e pelas representações, é consistente com o domínio considerado da Física, que de maneira geral é vista de forma complexa e hermética. Dessa maneira, pelo menos com os sujeitos observados, o domínio por si só não proporcionou grandes atrativos para a manipulação do protótipo. O incentivo estava na utilização das máquinas e no desempenhar do papel “importante” de estar como sujeito para observação e avaliação do protótipo desenvolvido.

As telas introdutórias do protótipo e as apresentações dos agentes de suporte, de certa forma, quebraram esta pré-(in)disposição em relação ao “aprender Física”. A Física para o sujeito B consiste em “decorar algumas fórmulas e saber um pouco de Matemática”. A interação com o protótipo fez repensar e quem sabe ampliar esta definição tão limitada, mas tão comum entre os estudantes. Além disso, os elementos como o Narrador e o Construtor representaram algo de familiar e divertido aos sujeitos, que dessa maneira se sentiram mais atraídos para a exploração da aplicação e realização das atividades.

As representações oferecidas pelo protótipo e seus possíveis *feedbacks* foram diversas vezes utilizados e serviram como instrumentos para confirmações e mudanças conceituais dos conhecimentos dos sujeitos. Por exemplo, para o sujeito B, na questão da ultrapassagem do cenário II e na localização do valor mínimo da velocidade no cenário IV. Sem dúvida alguma, a possibilidade de utilização de representações e a manipulação quantitativa das variáveis para a simulação foram, para os sujeitos observados, os “ganchos” que mais incentivaram o engajamento do usuário no “mergulhar” do processo cíclico, presente no “laboratório” do cientista.

Análise Geral

A investigação dos sujeitos possibilitou as observações, relacionadas aos três tópicos considerados, descritas acima. Estas observações, por si só, correspondem a respostas específicas a determinadas situações investigadas. Estas respostas, obtidas de forma subjetiva, são de grande importância para a parte e para o todo, para o protótipo e para a tese desenvolvida. De forma geral, reunindo as observações dos sujeitos, formamos uma visão global do processo de investigação que nos faz pensar sobre os sujeitos e suas posturas assumidas durante a interação com a aplicação desenvolvida. A seguir são apresentadas as posturas dos sujeitos identificadas na observação, analisadas em relação à abordagem subjacente da arquitetura proposta, que caracteriza, por exemplo, os processos cíclicos da ciência, realizados pelos cientistas.

Na primeira etapa de observação foi buscado dos sujeitos sua representação do cientista e do significado de “fazer ciência”. Em relação a figura do cientista, para todos os sujeitos, os comentários giraram em torno de alguém distante, de algo sem associação com o cotidiano dos sujeitos, definidos por exemplo “como Einstein”, “como aquele que trabalha em laboratórios” ou “como aquele que inventa”. Algumas dúvidas surgiram quando os sujeitos foram solicitados a comentar sobre o “fazer ciência”, que basicamente, numa opinião compartilhada pelos sujeitos, equivale a profissão do cientista, pois corresponde “aquilo que o cientista faz”.

A interação com o protótipo, entre outros aspectos, sugere uma mudança da concepção dos sujeitos em relação aos cientistas e ao “fazer ciência”. A possibilidade de “criar” experiências e as telas introdutórias do protótipo, representadas de forma esquemática na figura 6.1, apresentaram uma visão distinta daquela retratada no parágrafo anterior, pelos comentários dos sujeitos. Estas telas, como um conjunto, causaram certa surpresa aos sujeitos pela constatação de que cientista não é só uma profissão e “fazer ciência” pode ser uma postura ativa diante das idéias.

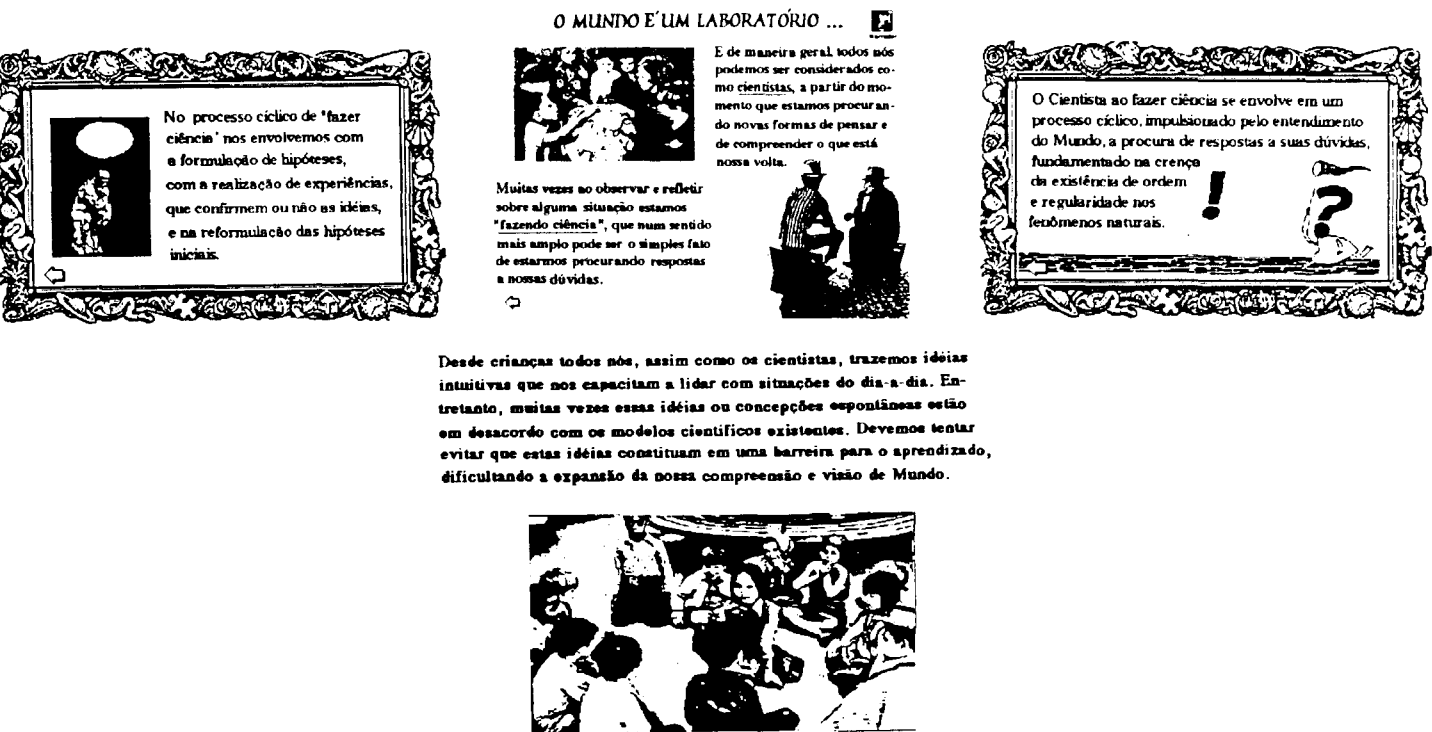


fig. 6.1: Cientistas e “Fazer Ciência”

Os comentários dos sujeitos sobre os cientistas e o “fazer ciência”, após a interação com o protótipo, mostram uma mudança de visão em relação a estes conceitos. Agora, o cientista pode ser tanto “Galileu” quanto “aquele que consegue fazer hipóteses para experiências”, ou então pode ser “um arquiteto, pois eu trabalhando com arquitetura estou fazendo e refazendo projetos”. Algo semelhante ocorreu com a definição do “fazer ciência”, que passou a ser visto não mais exclusivamente como uma atividade de cientistas. O sujeito C, em seu comentário sobre a questão, coloca um questionamento da existência do “fazer ciência” em algum processo do seu dia-a-dia: “Eu não sei se faço ciência, mas dessa forma colocada, parece que sim”.

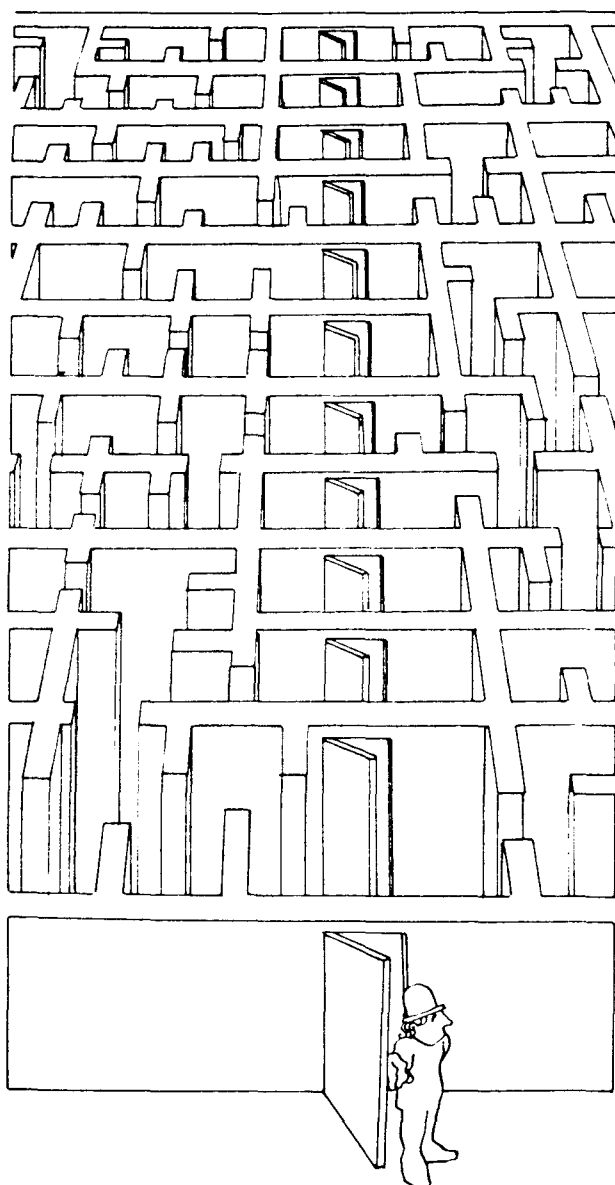
Entretanto, apesar desta aproximação com a figura do cientista, os sujeitos demonstraram em certas situações dificuldades em se envolver ciclicamente, no pensar-verificar-pensar. Por exemplo, em alguns casos quando uma idéia inicial era confrontada por algum *feedback* do protótipo, a postura mais comum consistiu em ignorar a informação contraditória, isto é, o *feedback* era “percebido” mas não era aceito plenamente, a ponto de modificar a estrutura da idéia intuitiva. Esta “aceitação” superficial nos remete à postura passiva adotada pelos estudante nas salas de aula.

Outro exemplo, muito interessante, diz respeito a comparação dos desenhos criados pelos sujeitos, na primeira etapa de investigação, com os cenários implementados no protótipo. Por várias vezes um mesmo cenário foi retratado de forma diferente daquela apresentada pela aplicação, o quê invariavelmente representava para os sujeitos um erro muito grande, como se houvesse uma única forma, um único padrão, que deveria ser seguido e adotado.

Em linhas gerais, a camada de suporte da interface estendida da aplicação ao apresentar determinados elementos consistentes com as ações do usuário numa situação de “laboratório”, incentivou ao aprendiz a atuar no papel de um cientista. Entretanto, como era de se esperar, esse desempenhar como se fosse um investigador não ocorreu em todos os pontos da interação. Mas com certeza fez pensar sobre o papel do cientista e dos significados do “fazer ciência” e dos processos cíclicos do aprender.

CAPÍTULO 7

Conclusões e Perspectivas



Basicamente, a motivação deste trabalho esteve na perspectiva de oferecer aos aprendizes ambientes computacionais que favoreçam a construção e a reconstrução de hipóteses. A imagem do usuário ativo, pensante e engajado na exploração dos elementos do sistema foi desde o início de nosso trabalho a meta que gostaríamos de alcançar. Entretanto, estava claro que para atingir esta meta algumas questões deveriam ser consideradas. Como por exemplo:

Que características deveria ter a interface de modo a facilitar ao usuário o envolvimento com o sistema? Como considerar o modelo conceitual intuitivo do usuário, no *design* da interface? Como fornecer suporte ao usuário de forma a encontrar uma relação de equilíbrio entre quem mantém o controle da interação?

Em sua essência, estas perguntas poderiam ter sido sintetizadas em uma só questão, que expressasse o desejo de projetar e construir ambientes computacionais centrados na figura do usuário. Afinal, as perguntas acima giram em torno de preocupações em relação a adequação do sistema ao usuário. Essas preocupações poderiam ser resumidas em uma básica:

Como construir ambientes, que possam “tocar” o usuário, respeitar suas idéias intuitivas e possibilitar um equilíbrio no controle entre sistema e usuário durante o engajamento?

Agora, ao final do trabalho, fica mais fácil argumentar que para esta pergunta básica não existe uma resposta definitiva e única, há possivelmente uma infinidade de soluções. Acreditamos que nosso trabalho contribui com uma proposta de solução que, para efeito de exemplificação, foi implementada e analisada no contexto de utilização, proporcionando *feedbacks* a alguns de nossos questionamentos.

Em linhas gerais, a solução encontrada corresponde à arquitetura proposta: com seus elementos constituintes e suas inter-relações. Entretanto, um ponto deve ser esclarecido. A solução que “abraçamos” deve ser compreendida à luz de certas considerações, que estão subjacentes à arquitetura proposta. Estas considerações, que são descritas a seguir, em nossa maneira de ver, estão relacionadas e nos auxiliaram na elaboração deste trabalho.

A primeira consideração corresponde a escolha do elemento central e essencial do nosso trabalho: a simulação computacional. Ao considerarmos ambientes baseados em simulação estávamos dando um primeiro “passo” em nosso objetivo de criar situações no computador onde o usuário pudesse desempenhar um papel ativo no processo de interação com o sistema. Afinal, a possibilidade de manipulação das grandezas do modelo e a construção de um nível intermediário entre o “mundo” do aprendiz e algum modelo abstrato vai ao encontro de nossas questões, pois abre espaço tanto para uma postura de exploração deste “mundo familiar” quanto para situações nas quais o usuário tem controle sobre a atividade.

Como segunda consideração, subjacente em nosso trabalho, devemos mencionar a abordagem centrada no usuário, para o design de interfaces. Esta abordagem, proposta por Norman (1986) entre outros, modificou o enfoque no *design* de sistemas para incluir também aspectos subjetivos relacionados aos modelos mentais dos usuários. Ao considerarmos esta abordagem estávamos em certa medida respondendo a questão básica deste trabalho, além de fundamentar a elaboração da arquitetura para ambientes baseados em simulação e o *design* do protótipo implementado.

A terceira e última consideração está associada ao contexto e aos processos de ensino/aprendizado. Em relação a este contexto não poderíamos deixar de observar que este trabalho adota a abordagem construtivista de Piaget, que ao considerar a criança como um construtor de suas próprias estruturas mentais nos fornece o “gancho” para as situações de conflito cognitivo e de contradição. Estas situações podem ocorrer pelo uso da simulação computacional e do engajamento ativo do usuário, sendo essenciais em nosso trabalho, pois equivalem às oportunidades onde potencialmente pode-se esperar o repensar e o reconstruir de idéias.

Ou seja, ao tratarmos a simulação computacional dentro de uma abordagem centrada no usuário e consistente com a teoria construtivista estamos propondo um caminho de solução para nossos questionamentos, que culmina com o construir da arquitetura e o elaborar dos elementos que a constituem.

Em relação à arquitetura proposta, apresentada no capítulo 4, utilizamos a metáfora do “fazer ciência”, da investigação científica, para contextualizar de forma mais explícita o processo cíclico de construção e reconstrução de hipóteses, que tínhamos em mente e que gostaríamos de viabilizar aos aprendizes. Entretanto, outras metáforas poderiam ter sido utilizadas, como título de contextualização das inter-relações dos elementos pertencentes às três partes da camada de suporte da arquitetura. O “fazer programas” e o “fazer música”, isto é, a atividade de programação (Baranauskas, 1993) e a composição musical (Martins, 1994) são exemplos de processos cíclicos, que se encaixariam perfeitamente na abordagem da arquitetura proposta. Para visualizar esta concepção podemos imaginar que as partes da camada de suporte, mantendo suas relações, são móveis, destacáveis, de tal forma que se possa trocar os elementos constituintes dependentes do domínio considerado. Dessa forma, considerando uma determinada atividade cíclica, a arquitetura é válida para os diversos domínios desta atividade.

Em relação ao protótipo desenvolvido, devemos apontar algumas extensões em relação ao que foi implementado. A primeira extensão diz respeito à continuação, da parte que se refere à implementação dos cenários a construir, descritos no capítulo 5. A segunda extensão está relacionada com a implementação de determinados elementos, que complementem alguns aspectos do protótipo desenvolvido. Dentre estes elementos destacamos, por exemplo, a possibilidade do uso da representação vetorial na descrição do movimento e a implementação de um “caderno de anotações”, que registre e acompanhe o processo de interação do aprendiz com o sistema.

Dois outras possibilidades, em relação a aplicação desenvolvida, devem ser mencionadas. A primeira delas está relacionada com a possibilidade de modificação parcial do protótipo pelo professor. Isto é, sem modificar o domínio considerado ou a estrutura funcional do protótipo, o profissional poderia alterar o que se denominou de “recheio” da aplicação. Por exemplo, um professor que queira utilizar o protótipo e suas simulações mas que deseje alterar as questões propostas pelo Questionador, as hipóteses do elemento Construtor, os textos do Narrador ou o conteúdo e as mensagens das telas introdutórias da aplicação.

A segunda possibilidade vem ao encontro de uma forte tendência, cada vez mais generalizada, de utilização de novas formas e novos recursos para os processos de aprendizado, que tem a Multimídia como um dos carros-chefe (Norris 1995, Reinhardt 1995, Papert 1994, Vaughan 1993). Não nos parece complexa a transformação e aprimoramento do protótipo desenvolvido em uma aplicação multimídia, que apresente por exemplo os textos do narrador em forma sonora, parte das animações em vídeo digital e utilizando tela de toque. Em uma visão mais ampla podemos pensar em uma aplicação multimídia que considere o protótipo como uma opção para o ensino de Cinemática, dentro de um contexto global para ensino baseado em simulação computacional, de diversas áreas da Física. A figura 7.1 corresponde a esta idéia, “esboçada” na fase inicial do trabalho.

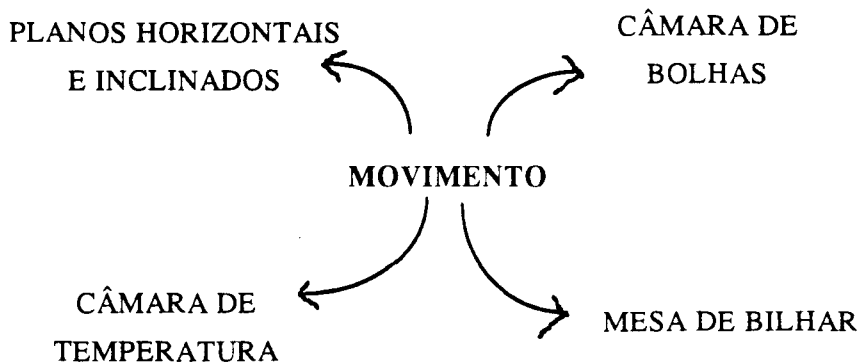


Fig. 7.1: Esboço de uma possível aplicação para ensino de Física

De forma geral, o potencial de utilização de sistemas computacionais nos processo de ensino/aprendizado parece-nos ilimitado. Metaforicamente, o computador aparece como semente para a liberação do imenso potencial humano e proporciona possibilidades para o retorno da idéia Renascentista do Homem Universal, que com uma formação global não trilhará o caminho da especialização e poderá estar acima da cultura nacional, convertendo-se num cidadão do mundo. Entretanto, a criação de perspectivas benéficas através da tecnologia aplicada aos processos de ensino/aprendizado é de responsabilidade de todos nós.

Referências

Ackermann E. (1993). *Tools for Constructive Learning: Rethinking Interactivity*. Memo No. 15, Media Laboratory, Massachusetts Institute of Technology , USA.

Antao B., Broderzen A, Burne J., Cantwell J. (1992). Building Intelligent Tutorial Systems for Teaching Simulation in Engineering Education. *IEEE Transactions on Education*, 35(1), p. 50-56.

Apple Computer, Inc. (1991). *The Script Language Guide: The HyperTalk Language*. Addison-Wesley Publishing Company.

Apple Computer, Inc. (1992). *Macintosh Human Interface Guidelines*. Addison-Wesley Publishing Company.

Apple Computer, Inc. (1989). *HyperCard Stack Design Guidelines*. Addison-Wesley Publishing Company.

Bacon R. (1992). The Use of Computers in the Teaching of Physics. *Computers & Education*, 19(1-2), p. 57-66.

Baranauskas M. C. C. (1993). *Criação de Ferramentas para o Ambiente Prolog e o Acesso de novatos ao Paradigma da Programação em Lógica*. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica, UNICAMP, São Paulo.

Baranauskas M. C. C., Weller D. (1994). Extended Interfaces for Learning Environments Based on Simulation. *Accepted Proposal for Presentation at the World Conference on Educational Multimedia and Hypermedia*, Vancouver, Canada.

Bender D. (1988). Combining a Computer Simulation with Laboratory Class - The Best of Both Worlds? *Computers & Education*, 13(3), p. 235-243.

Borghi L., Ambrosio A., Gazzaniga G., Ironi L., Mascheretti P., Massara C. (1989). Integrating Computer Simulations and the Physics Laboratory: A Unit Dealing with Wave Propagation. *Computers & Education*, 13(2), p. 179-186.

Borghi L., Ambrosio A., Gazzaniga G., Ironi L., Mascheretti P., Massara C. (1991). Practical Use of Simulations to study Relative Motion. *Computers & Education*, 16(2), p. 157-166.

Bottino R., Chiappini G., Ferrari P. (1993). Hypermedia and Communication: A Challenge for Interactive Learning in Mathematics. *In Proceedings of World Conference on Educational Multimedia and Hypermedia*, Orlando, Florida, USA, p. 83-89.

Caniato R. (1979). *Mecânica: Projeto Brasileiro para o Ensino da Física*. Fundação tropical de Pesquisas Tecnológicas, Sao Paulo.

Carlson E. (1989). Teaching Software Construction to Physicists. *American Journal of Physics*, 57(2), p. 148-153.

Chan C. (1989). Computer Use in the Elementary Classroom: An Assessment of CAI Software. *Computers & Education*, 13(2), p. 109-115.

- Clement J (1983). A Conceptual Model Discussed by Galileo and Used Intuitively by Physics Students. *In Mental Models*, Lawrence Erlbaum Associates, p. 325-339.
- Cole R., Miller E., Chakrabarti S., Gogineni S. (1990). Learning About Fields and Waves Using Visual Elettromagnetics. *IEEE Transactions on Education*, 33(1), p. 81-94.
- Conklin J. (1987). Hypertext: An Introduction and Survey. *IEEE Computer*, september, p. 17-41.
- de Jong T. (1991). Learning and Instruction with Computer Simulations. *Education & Computing*, 6, p. 217-229.
- Dekkers J., Donatti S. (1981). The Integration of Research Studies on the Use of Simulation as an Instructional Strategy. *Journal of Educational Research*, 74(6), p. 424-427.
- de La Taille Y. (1990). *Ensaio sobre o Lugar do Computador na Educação*. Iglu Editora, São Paulo.
- Disessa A. (1987). The Third Revolution in Computers and Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), p. 343-367.
- Doerner D. (1980). On the Difficulties People Have in Dealing with Complexity. *Simulation & Games*, 11(1), p. 87-106.

Driver R. (1986). *Psicologia Cognoscitiva y Esquemas Conceptuales de los Alumnos. Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), p. 3-15.

Einsten A., Infeld L. (1938). *A Evolução da Física*. Zahar Editores, Rio de Janeiro.

Ferrari J. (1989). Ten Principles of a Good User Interface. *Start: The ST Monthly*, August.

Feynman R., Leighton R., Sands M. (1963). *Lectures on Physics*. Addison-Wesley Publishing Company.

Fishwick P. (1989). Qualitative Methodology in Simulation Model Engineering. *Simulation*, March, p. 95-101.

Giannotti E., Fanghella P., Galletti C. (1991). Hypertexts for Machine Theory Education. *Computers & Education*, 16(1), p. 121-126.

Gomoll K. (1990). Some Techniques for Observing Users. *In The Art of Human-Computer Interface Design*. Addison-Wesley Publishing Company.

Gomes R. (1992). An Interface for Simulations. *In Proceedings of International Conference on Technology and Education*, Paris, p. 577-579.

Goodman D. (1988). *The Complete HyperCard Handbook*. Bantam Books, New York.

Goodyear P. (1991). A Knowledge-Based Approach to Supporting the Use of Simulation Programs. *Computers & Education*, 16(1), p. 99-103.

Gorrel J., Cuevas A., Downing H. (1988). *Computer Simulations of Classroom Behavior Problems*. *Computers & Education*, 12(2), p. 283-287.

Grimellini-Tomasini N., Pecori-Balandi B., Pacca J., Villani A. (1993). Understanding Conservation Laws in Mechanics: Students' Conceptual Change in Learning about Collisions. *Science Education*, 77(2), p. 169-189.

Grudin J. (1993). Interface: An Evolving Concept. *Communication of ACM*, 36(4), p. 110-119.

Hamburger E. (1981). *Projeto de Ensino de Física: Mecânica*. Instituto de Física da Universidade de São Paulo.

Harper B., Ceccon C., Oliveira M. (1980). *Cuidado, Escola!* Editora Brasiliense, São Paulo.

Harrison D., Pitre J. (1988). Computers in a Teaching Laboratory: Just Another Piece of Apparatus. *Computers & Education*, 12(2), p. 261-267.

Hebenstreit J. (1991). Simulation as an Educational Tool. *In Proceedings of International Conference on Technology and Education*, Toronto.

Hawkins J., Pea R. D. (1987). Tools for Bridging the Cultures of Everyday and Scientific Thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), p. 291-307.

Hawkrigde D. (1990). Who Needs Computers in Schools, and Why? *Computers & Education*, 15(1-3), p. 1-6.

Heckel P. (1991). *Software Amigável: Técnicas de Projeto para uma Melhor Interface com o Usuário*. Editora Campus, Rio de Janeiro.

Heisenberg W. (1958). *Física e Filosofia*. Editora Universidade de Brasília.

Hepp P., Alvarez M., Hinostroza E., Laval E. (1993). "La Plaza". A Software Design for an Educational Network. *Communications ACM*, 36, p. 241-246.

Hildebrandt D. (1990). *Concepções Espontâneas em Física Térmica*. Tese de Mestrado. Faculdade de Educação, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Hix D., Hartson H. (1993). *Developing User Interfaces: Ensuring Usability Through Product & Process*. John Wiley & Sons, Inc.

Kankaanrinta I. (1991). Studying a Finnish Forest Ecosystem with a Simulation Program. *Computers & Education*, 16(1), p. 105-108.

Kawasaki G. (1993). *O Jeito Macintosh*. Editora Callis, São Paulo.

Kay A. (1990). User Interface: A Personal View. *In The Art of Human-Computer Interface Design*. Addison-Wesley Publishing Company, p. 191-207.

Kuhn T. (1962). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. Editora Perspectiva, São Paulo.

Laurel B. (1990a). Introduction. *In The Art of Human-Computer Interface Design*. Addison-Wesley Publishing Company, p. xi-xvi.

Laurel B. (1990b). Interface Agents: Metaphors with Character. *In The Art of Human-Computer Interface Design*. Addison-Wesley Publishing Company, p. 355-366.

Lock J. (1987). Numerical Methods in Optics: A Course about Learning Physics through Computing. *American Journal of Physics*, 55(12), p. 1121-1133.

Martins, M. C. (1994). *Investigando a Atividade Composicional: Levantando Dados para um Ambiente Computacional de Experimentação Musical*. Tese de Mestrado. Faculdade de Educação, UNICAMP, São Paulo.

Mayes J., Kibby M., Watson H. (1988). The Development and Evaluation of a Learning-by-Browsing System on the Macintosh. *Computers & Education*, 12(1), p. 221-229.

McCloskey M. (1983). Naive Theories of Motion. *In Mental Models*, Lawrence Erlbaum Associates, p. 299-324.

McDermott L., Rosenquist M., van Zee E. (1987). Student Difficulties in Connecting Graphs and Physics: Examples from Kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), p. 503-513.

Millar R. (1991). Stimulating Simulations. *In Proceedings of International Conference on Technology and Education*, Toronto, Canada.

Nelson T. (1990). The Right Way to Think About Software Design. *In The Art of Human-Computer Interface Design*. Addison-Wesley Publishing Company, p. 235-243.

Nielsen J. (1990). The Art of Navigating Trough Hypertext. *Communications of the ACM*, 33(3), p. 296-310.

Norman D. (1983). Some Observations on Mental Models. *In Mental Model*, Lawrence Erlbaum Associates, p. 1-14.

Norman D. (1986). Cognitive Engineering. *In User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, p. 31-61.

Norman D. (1990). Why Interfaces Don't Work. *In The Art of Human-Computer Interface Design*. Addison-Wesley Publishing Company, p. 209-219.

Norris T. (1995). Weird and Wonderful Science. *CD-ROM Today*, 15, July.

Osborne R., Gilbert J. (1980). A Techique for Exploring Students'Views of the World. *Physics Education*, 15.

Pagano R. (1992). *Computer Simulation as an Educational Tool*. Phd Thesis. Université Catholique de Louvain, Belgium.

Papert S. (1985). *Logo: Computadores e Educação*. Editora Brasiliense, São Paulo.

Papert S. (1994). *A Máquina das Crianças: Repensando a Escola na Era da Informática*. Editora Artes Médicas, Porto Alegre.

Pea, R. D. (1985). Beyond Amplification: Using Computer to Reorganize Mental Function. *Educational Psychologist*, 20(4), P. 167-182.

Piaget J. (1970). *The Child's Conception of Movement and Speed*. Ballantine, New York.

Poincaré H. (1901). *A Ciência e a Hipótese*. Editora Universidade de Brasília.

Ponta D., Donzellini G., Parodi G. (1991). Practical Eletronics Taught by Hypertext: The Workbench Project. *Computers & Education*, 16(1), p. 127-132.

Quinn C. (1991). Computers for Cognitive Research: A HyperCard Adventure Game. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 23(2), p. 237-246.

Reinhardt A. (1995). Novas formas de Aprender. *Byte*, Março.

Rheingold H. (1990). An Interview with Don Norman. *In The Art of Human-Computer Interface Design*. Addison-Wesley Publishing Company, p. 5-10.

Risley J. (1995). *Catalog of Programs from Physics Academic Software*. North Carolina State University.

Rumbaugh J., Blaha M., Premerlani W., Eddy F., Lorenzen W. (1991). *Object-Oriented Modeling and Design*. Prentice Hall.

Saltiel E., Viennot L. (1985). Que Aprendemos de las Semejanzas entre las Ideas Historicas y el Razonamiento Espontaneo de los Estudiantes? *Ensenanza de las Ciencias*, 3(2), p. 137-144.

Schaff A.(1985). *A Sociedade Informática: As Consequências Sociais da Segunda Revolução Industrial*. Editora Brasiliense, São Paulo.

Schank R., Jona M. (1990). *Empowering the Student: New Perspectives on Design of Teaching Systems*. The Institute for the Learning Sciences, Northwestern University.

Shacham M., Cutlip B. (1988). Authoring Systems for Laboratory Experiment Simulators. *Computers & Education*, 12(2), p. 277-282.

Schenberg M. (1984). *Pensando a Física*. Editora Brasiliense, São Paulo.

Setzer, W., Chaves, C. (1988). *O Uso de Computadores nas Escolas: Fundamentos e Críticas*. Editora Scipione, São Paulo.

Smith P., Pollard D. (1986). The Role of Computer Simulations in Engineering Education. *Computers & Education*, 10(3), p. 335-340.

Soloway E. (1993). Reading and Writing in the 21st Century. *Communications of the ACM*, 36(5), p. 23-27.

Svanaes, D. (1990). Simulation Models+User Interfaces=Interactive Applications. *Computers & Education*, 14(4), p. 363-370.

Syllabus O. (1993). Simulations: Bringing Complex Models to Life. *syllabus@applelink.apple.com*, 29, September.

Toval A., Flores M. (1987). Computer Systems Simulation in Education: Description of an Experience. *Computers & Education*, 11(4), p. 293-303.

Trowbridge D., McDermott L. (1980). Investigation of Student Understanding of the Concept of Velocity in one Dimension. *American Journal of Physics*, 48(12), p. 1020-1028.

Valente J. (1993). Diferentes Usos do Computador na Educação. In *Computadores e Conhecimento: Repensando a Educação*, UNICAMP, São Paulo, p. 1-23.

van Berkum J., de Jong T. (1991). Instructional Environments for Simulations. *Education & Computing*, 6, p. 305-358.

van Joolingen W., de Jong T. (1991). Characteristics of Simulations for Instructional Settings. *Education & Computing*, 6, p. 241-262.

van Staden J., Braun M., Tonder B. (1987). Computerized Pendulum Experiment for the Introductory Physics Laboratory. *Computers & Education*, 11(4), p. 281-292.

Vaughan T. (1993). *Multimídia na Prática*. Editora McGraw-Hill, São Paulo.

Vertelney L., Booker S. (1990). Designing the Whole-Product User Interface. In *The Art of Human-Computer Interface Design*. Addison-Wesley Publishing Company, p. 57-63.

Villani A., Pacca J., Hosoume Y.(1985). Concepção Espontânea sobre Movimento. *Revista de Ensino de Física*, 7(2), p. 37-45.

Weller D., Baranauskas M. C. C. (1994). Galileu: Uma Ferramenta para Interação com a Física dos Movimentos. *Trabalho Aceito para Apresentação no Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Porto Alegre.

Williams R. (1980). Attitude Change and Simulation Games. *Simulation & Games*, 11(2), p. 177-196.

Winograd T., Flores F. (1985). *Understanding Computers and Cognition*. Ablex, Norwood.

Whitaker R. (1983). Aristotle is not Dead: Student Understanding of Trajectory Motion. *American Journal of Physics*, 51(4), p.352-357.

Whitelock D., Taylor J., O'Shea T., Scanlon E., Sellman R., Clark P., O'Malley C. (1993). Challenging Models of Elastic Collisions with a Computer Simulation. *Computer & Education*, 20(1), p.1-9.

Yazdani M. (1987). Intelligent Tutoring Systems: An Overview. *In Artificial Intelligence and Education: Learning Environments and Tutoring Systems*. Ablex Publishing, p. 183-202.

Zylbersztajn A. (1983). Concepções Espontâneas em Física: Exemplos em Dinâmica e Implicações. *Revista de Ensino de Física*, 2(5), pp. 3-16.

Anexo I

O QUE É PARA VOCÊ UM CIENTISTA ?

O QUE É PARA VOCÊ “FAZER CIÊNCIA” ?

IMAGINE UM CENÁRIO COM DUAS ESFERAS, NA MESMA POSIÇÃO INICIAL, CADA UMA SOBRE UM PLANO DIFERENTE, PERFEITAMENTE LISO E HORIZONTAL.

DESENHE ABAIXO ESTA SITUAÇÃO.

IMAGINE O MESMO CENÁRIO ANTERIOR, MAS COM AS ESFERAS EM POSIÇÕES INICIAIS DIFERENTES.

DESENHE ABAIXO ESTA NOVA SITUAÇÃO.

SUPONHA QUE NESTE CENÁRIO AS ESFERAS INICIAM SEUS MOVIMENTOS EM INSTANTES DE TEMPO DIFERENTES E PERCORREM DISTÂNCIAS DESIGUAIS. SUPONHA QUE UMA DAS ESFERAS PERCORRE UMA DISTÂNCIA MENOR, NUM TEMPO MAIOR. ESTA ESFERA TEM MAIOR VELOCIDADE ?

NO CASO DE ULTRAPASSAGEM, AS VELOCIDADES DAS ESFERAS NO INSTANTE DE ULTRAPASSAGEM SÃO IGUAIS? SIM/NÃO? POR QUÊ ?

IMAGINE UM CENÁRIO COM UMA ESFERA SOBRE UM PLANO HORIZONTAL, PERFEITAMENTE LISO.

DESENHE ABAIXO ESTA SITUAÇÃO E IDENTIFIQUE OS CONCEITOS FÍSICOS ENVOLVIDOS

SUPONHA QUE PARA ESTE CENÁRIO A ESFERA NUM INTERVALO DE TEMPO DE 50 s PERCORREU A DISTÂNCIA DE 200 cm. QUAL O VALOR DA VELOCIDADE?

IMAGINE AGORA UMA NOVA SITUAÇÃO. UMA ESFERA EM REPOUSO, NA PARTE MAIS ALTA, DE UM PLANO INCLINADO, PERFEITAMENTE LISO.

DESENHE ABAIXO ESTE NOVO CENÁRIO.

PARA ESTE CENÁRIO, A RELAÇÃO ENTRE DISTÂNCIA PERCORRIDA E INTERVALO DE TEMPO SE MANTÉM CONSTANTE? SIM/NÃO? POR QUÊ?

AS VELOCIDADES DA ESFERA CORRESPONDENTES AS MESMAS POSIÇÕES DE IDA E DE VOLTA TÊM VALORES IGUAIS? SIM/NÃO? POR QUÊ?

QUANDO A ESFERA ATINGE O PONTO MAIS BAIXO DA TRAJETÓRIA, O VALOR DA VELOCIDADE É MÁXIMA? SIM/NÃO? POR QUÊ?

Anexo II

CONSIDERE O CENÁRIO I.

DESCREVA O MOVIMENTO DA ESFERA.

CLICANDO SOBRE O QUESTIONADOR, CONSIDERE A PRIMEIRA PERGUNTA E OBSERVE A REPRESENTAÇÃO OFERECIDA. COMENTE SOBRE SUA CONCLUSÃO.

CONSIDERE O CENÁRIO II.

SELECIONE COM UM CLIQUE O ÍCONE DO CONSTRUTOR E CONSIDERE A PRIMEIRA PROPOSIÇÃO APRESENTADA. EXPLORE AS CONSTRUÇÕES DE SENTENÇAS E OBSERVE A REPRESENTAÇÃO OFERECIDA. DESCREVA O QUE VOCÊ OBSERVOU.

AJUSTE AS VARIÁVEIS PARA QUE EXISTA UMA ULTRAPASSAGEM. AS VELOCIDADES DAS ESFERAS, NO INSTANTE DE ULTRAPASSAGEM, SÃO IGUAIS ? SIM/NÃO? POR QUÊ?

CONSIDERE O CENÁRIO III.

IDENTIFIQUE OS CONCEITOS FÍSICOS ENVOLVIDOS.

SELECIONE O QUESTIONADOR E CONSIDERE A PRIMEIRA PERGUNTA.
OBSERVE A REPRESENTAÇÃO OFERECIDA. E COMENTE SUA
RESPOSTA.

CONSIDERE O CENÁRIO IV.

CLIQUE SOBRE O ÍCONE DO CONSTRUTOR E CONSIDERE A SEGUNDA PROPOSIÇÃO APRESENTADA. EXPLORE AS CONSTRUÇÕES DE SENTENÇAS

OBSERVE A REPRESENTAÇÃO CORRESPONDENTE E DESCREVA O QUE VOCÊ OBSERVOU.

AGORA CLICANDO SOBRE O QUESTIONADOR CONSIDERE A PRIMEIRA

PERGUNTA. OBSERVE A REPRESENTAÇÃO. DESCREVA O QUE VOCÊ OBSERVOU.

FAÇA O MESMO PARA A SEGUNDA PERGUNTA DO QUESTIONADOR.
DESCREVA O QUE VOCÊ OBSERVOU.

O QUE É PARA VOCÊ UM CIENTISTA ?

O QUE É PARA VOCÊ “FAZER CIÊNCIA” ?