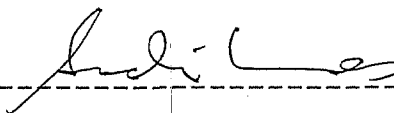


UMA FERRAMENTA DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS' ESPECIALISTAS
PARA ÁREA DE FÍSICA EXPERIMENTAL

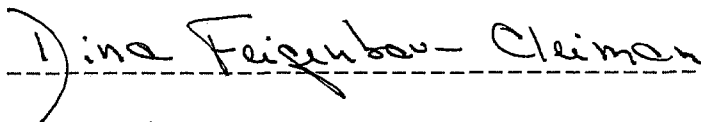
HERMES ABREU FILHO

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOGENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS
DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO
DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.) EM ENGENHARIA
DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

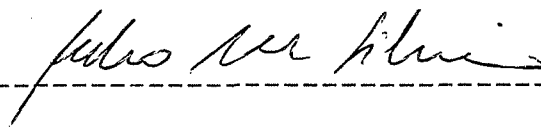
Aprovada por :



Prof(a). Sueli Bandeira Teixeira Mendes



Prof(a). Dina Feigenbaum Gleiman



Prof. Pedro Manuel da Silveira

ABREU FILHO, HERMES

Uma ferramenta de desenvolvimento de sistemas especialistas para área de Física Experimental [Rio de Janeiro] 1991

XII, 132 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M. Sc., Engenharia de Sistemas e Computação, 1991)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Sistemas Especialistas. 2. Informática e Educação

I. COPPE/UFRJ. II. Título (série).

Ao meu avô,
 à minha mãe,
 ao meu irmão,
 ao meu sobrinho
 e
 à D. Neném.

Agradecimentos

À professora Lígia Barros, coordenadora do projeto LABOR e minha co-orientadora, que possibilitou a realização desse trabalho.

À professora Sueli Bandeira Teixeira Mendes, minha orientadora, pela atenção dedicada ao trabalho.

Ao professor Luís Paulo Bueno do departamento de Física da UFRJ, que desempenhando o papel de um especialista participou ativamente nas sessões de aquisição do conhecimento, contribuindo bastante na execução do trabalho.

À professora Dina Feigenbaum Cleiman, pelas críticas e sugestões feitas ao presente trabalho e pela participação na banca examinadora.

Ao professor Pedro Manuel da Silveira, pela participação na banca examinadora.

À equipe do projeto LABOR, pela colaboração no desenvolvimento de rotinas para interface utilizada na ferramenta implementada.

Ao meu irmão José de Assis Rodrigues Abreu, que incansavelmente digitou toda a tese, com a ajuda de nossa amiga Maria Delfina Mesquita Bastos.

A todos os meus amigos, pelo incentivo e ajuda durante a execução desse trabalho, em especial aos amigos Einstein e Eunice.

Ao Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ, que através do projeto LABOR permitiu a realização desse trabalho.

À Universidade Federal do Ceará, que por meio do programa PICD possibilitou a realização desse curso.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

UMA FERRAMENTA DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS
ESPECIALISTAS PARA ÁREA DE FÍSICA EXPERIMENTAL

Hermes Abreu Filho

Maio de 1991

Orientador(a) : Sueli Bandeira Teixeira Mendes

Programa : Engenharia de Sistemas e Computação

Este trabalho apresenta um estudo sobre aplicações de sistemas especialistas na Educação. A área de aplicação escolhida é Física Experimental.

Este estudo envolve principalmente a aquisição e representação do conhecimento.

No processo de aquisição do conhecimento, constata-se a dificuldade em adquirir e estruturar o conhecimento de Física devido aos aspectos qualitativos e quantitativos.

Para amenizar este problema é proposta uma ferramenta de desenvolvimento de sistemas especialistas. Nessa ferramenta os aspectos qualitativos são representados por regras e os aspectos quantitativos por "frames". Os "frames" são usados para representar as fórmulas conceitualmente.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

A TOOL OF DEVELOPMENT OF EXPERT SYSTEMS
FOR APPLICATION IN EXPERIMENTAL PHYSICS

Hermes Abreu Filho

May, 1991

Thesis Supervisor : Sueli Bandeira Teixeira Mendes

Department : Systems and Computation Engineering

This work presents a study about an application of expert systems in Education. The selected application domain is Experimental Physics.

This study involves mainly the knowledge acquisition and representation.

In knowledge acquisition process, the difficulty to acquire and organize physics knowledge has been confirmed because of its qualitative and quantitative aspects.

To solve this problem, a tool of development of expert system is suggested. In this tool, the qualitative aspects are represented by rules and the quantitative aspects by frames. The frames are used to represent formulas conceptually.

Índice

I. Introdução	1
I.1. Motivação do problema	2
I.2. Objetivos do trabalho	3
I.3. Sumário do conteúdo	4
II. Uso do computador na educação	6
II.1. Categorias dos usos educacionais do computador	7
II.1.1. Ensino assistido por computador	8
II.1.2. Ambientes de aprendizagem por computador	9
II.1.3. Ferramentas de ensino/aprendizagem ..	10
II.1.4. Ensino gerenciado por computador	10
II.1.5. Programação	11
II.1.6. Alfabetização por computador	11
II.2. Inteligência Artificial e os sistemas ICAI ..	12
II.3. Sistemas especialistas para educação	14

III. Aspectos sobre Sistemas Especialistas	15
III.1. Anatomia de um sistema especialista	17
III.2. Representação do conhecimento	19
III.2.1. Regras de produção	21
III.2.2. Lógica de predicados	21
III.2.3. Objetos estruturados	22
III.3. Mecanismos de inferência	24
III.4. Linguagem natural	25
III.5. Processo de aquisição do conhecimento	26
III.5.1. Método observacional	31
III.5.2. Método intuitivo	31
III.5.3. Métodos observacional e intuitivo .	32
III.6. Módulos de explicação e/ou justificação	33
III.7. Ferramentas para construir sistemas especialistas	34
III.8. Seleção de uma ferramenta de desenvolvimento de sistemas especialistas	36
III.9. Fases de desenvolvimento de sistemas especialistas	37
III.9.1. Identificação	38
III.9.2. Conceitualização	39
III.9.3. Formalização	39
III.9.4. Implementação	39
III.9.5. Teste	40
III.9.6. Revisão	40

IV. Descrição de uma ferramenta de desenvolvimento de sistemas especialistas para área de Física Experimental	41
IV.1. Projeto LABDR e a ferramenta de sistemas especialistas	44
IV.2. Metodologia de trabalho	46
IV.2.1. Seleção de um domínio de aplicação ..	47
IV.2.2. Sessões do engenheiro do conhecimento com um especialista	49
IV.2.2.1. Processo de aquisição do conhecimento	51
IV.2.2.2. Desenvolvimento de um sistema especialista	53
IV.3. Características da área de Física Experimental	54
IV.3.1. Conhecimento da Física Experimental .	55
IV.3.2. Estratégias de ensino/aprendizagem de Física em laboratório	57
IV.4. Participantes envolvidos no projeto	58
IV.5. Dificuldades do processo de aquisição do conhecimento	59
IV.6. Viabilidade de ferramentas de construção de sistemas especialistas	60
IV.7. Arquitetura geral da ferramenta de desenvolvimento de sistemas especialistas para área de Física Experimental.....	62
IV.8. Descrição dos componentes da ferramenta	63
IV.8.1. Base de conhecimento	64
IV.8.2. Motor de inferência	66
IV.8.3. Interface	66
IV.8.4. Explicador e/ou justificador	67

V. Implementação da ferramenta proposta	68
V.1. Linguagem de programação escolhida	69
V.2. Interface	70
V.3. Operações da ferramenta	71
V.3.1. Operação SENHA	72
V.3.2. Operação ARQUIVO	73
V.3.3. Operação EDITAR	74
V.3.3.1. Objetivos, fatos, regras e hipóteses	75
V.3.3.2. Fórmulas	77
V.3.3.2.1. Incluir uma fórmula	82
V.3.3.2.2. Alterar uma fórmula	82
V.3.3.2.3. Retirar uma fórmula	83
V.3.3.2.4. Consultar uma fórmula	83
V.3.3.2.5. Incluir atributos .	84
V.3.3.2.6. Alterar atributos .	84
V.3.3.2.7. Retirar atributos .	85
V.3.3.2.8. Consultar atributos	85
V.3.3.2.9. Incluir valores ...	86
V.3.3.2.10. Alterar valores ..	88
V.3.3.2.11. Retirar valores ..	88
V.3.3.2.12. Consultar valores	88
V.3.4. Operação EXECUTAR	89
V.3.5. Operação LISTAR	94
V.3.6. Operação SAIR	94

VI. Diretrizes para desenvolvimento e consulta de sistemas especialistas usando a ferramenta implementada	95
VI.1. Diretrizes para desenvolvimento	96
VI.1.1. Análise de aspectos qualitativos do conhecimento	97
VI.1.2. Análise de aspectos quantitativos do conhecimento	98
VI.2. Diretrizes para consulta	99
VII. Validação da ferramenta proposta	100
VII.1. Participantes	101
VII.2. Desenvolvimento de um sistema especialista .	102
VII.2.1. Análise dos aspectos qualitativos do conhecimento	103
VII.2.2. Análise dos aspectos quantitativos do conhecimento	106
VIII. Conclusões	108
VIII.1. Resultados da ferramenta apresentada	108
VIII.2. Limitações deste trabalho	110
VIII.3. Sugestões	111
IX. Referências bibliográficas	112
Apêndice I - Base de objetivos	117
Apêndice II - Conhecimento do especialista relativo ao estudo de movimentos	118
Apêndice III - Base de fatos	120
Apêndice IV - Base de regras	121
Apêndice V - Base de fórmulas	124
Apêndice VI - Relação das questões	132

CAPÍTULO I

I. Introdução

O conhecimento é um dos objetos principais de estudo em Inteligência Artificial. É crescente o interesse de pesquisadores em melhor organizá-lo e representá-lo.

Os sistemas especialistas são sistemas baseados em conhecimento de áreas específicas do saber para solução de problemas. A construção de um sistema especialista é realizada, frequentemente, através de linguagens de programação ou por meio de ferramentas de desenvolvimento denominadas "shells".

A vantagem principal do uso de ferramentas de construção de sistemas especialistas é facilitar o desenvolvimento rápido dos sistemas que endereçam uma classe específica de problemas.

A aplicação de sistemas especialistas tem evoluído principalmente em áreas comerciais. O uso de sistemas especialistas na Educação é recente e surge como uma alternativa para o processo de ensino/aprendizagem.

I.1. Motivação do problema

O principal fator motivador para realização deste trabalho é a escassez de ferramentas para Educação apresentando características de sistemas especialistas. Os sistemas educacionais até então mais difundidos são os sistemas CAI (Computer-Assisted Instruction) onde o ensino é assistido pelo computador.

O outro fator é o projeto LABOR em desenvolvimento no Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O LABOR é um produto de "software" e "hardware" integrando múltiplas funções. Seu objetivo é usar o computador como ferramenta auxiliar em laboratórios de ciências experimentais. Dentre as ferramentas disponíveis, tem-se a ferramenta de desenvolvimento de sistemas especialistas que é o objeto deste estudo.

I.2. Objetivos do trabalho

O objetivo desta pesquisa consiste em descrever e implementar uma ferramenta apresentando características de sistemas especialistas para uso na área de Física Experimental.

Ao descrever esta ferramenta, um estudo mais detalhado foi reservado ao processo de aquisição e representação do conhecimento. Por ser uma área de difícil "extração" do conhecimento do especialista, bastante tempo foi investido neste estágio.

É também feita uma avaliação do produto especificado e implementado, considerando suas limitações.

I.3. Sumário do conteúdo

Este trabalho apresenta uma aplicação recente do computador na área da Educação. Na primeira parte (capítulo II), uma revisão sobre o uso do computador na escola é feita, inclusive abordando a possibilidade da utilização de sistemas especialistas no processo de ensino/aprendizagem.

No capítulo III, os aspectos mais importantes dos sistemas especialistas são apresentados para fundamentar seus princípios.

No capítulo IV, descreve-se uma ferramenta para desenvolvimento de sistemas especialistas com características próprias da área de Física Experimental. A ênfase dada neste capítulo é referente ao processo de aquisição de conhecimento que possibilitou a especificação dos componentes básicos da ferramenta.

No capítulo V, explica-se como a ferramenta foi implementada. Em particular, discute-se a base de fórmulas cuja representação é de "frames".

Baseado no processo de aquisição do conhecimento enfocado no capítulo IV, as diretrizes para desenvolvimento e consulta de sistemas especialistas são especificadas no capítulo VI. As diretrizes para desenvolvimento estão relacionadas com as tarefas exclusivas do professor enquanto a consulta com as atividades do aluno.

No capítulo VII, desenvolve-se um sistema especialista para física experimental segundo as diretrizes traçadas no capítulo anterior.

No capítulo VIII, as conclusões são expostas, considerando as limitações do trabalho e abordando algumas sugestões.

No capítulo IX, as referências bibliográficas são apresentadas.

CAPÍTULO II

II. Uso do computador na educação

A educação na escola tende a se modificar à medida que novos recursos tecnológicos surgem. O aparecimento da televisão e do videocassete no cenário educacional, à princípio, parecia revolucionar a educação, fato que não ocorreu em sua totalidade. Com o advento do computador, novas promessas foram feitas e as perspectivas são crescentes.

Desde os princípios da década de 60, as aplicações educacionais utilizando o computador estão em desenvolvimento. Predominantemente, o computador é usado como meio de interação direta com o estudante.

A seguir, apresenta-se uma breve descrição das categorias do uso do computador na Educação.

II.1. Categorias dos usos educacionais do computador

O uso de computadores nas escolas tem possibilitado atingir, além das finalidades as quais se propõe a Educação, objetivos como:

- 1) melhoria da alfabetização e das habilidades computacionais;
- 2) melhoria de ensino de conceitos;
- 3) incentivo ao questionamento do aluno;
- 4) instrução individualizada;
- 5) adequação dos estilos de ensino-aprendizagem e integração de alunos com dificuldade de aprendizagem.

Os computadores têm sido usados na Educação de diversas formas. Pode-se apresentar as seguintes categorias de usos educacionais do computador: (Veja COBURN et alii [11])

- 1) Ensino assistido por computador;
- 2) Ambientes de aprendizagem por computador;
- 3) Ferramentas de ensino/aprendizagem;
- 4) Ensino gerenciado por computador;
- 5) Programação;
- 6) Alfabetização por computador.

A seguir, tem-se uma descrição de cada uma destas categorias.

II.1.1. Ensino assistido por computador

O ensino assistido por computador é também conhecido nos meios educacionais como CAI (Computer-Assisted Instruction). Durante muitos anos a aplicação de CAI dominou o uso do computador na educação. A aplicação de CAI se destina a construir programas instrucionais que incorporam material educacional em lições para cada estudante.

Os métodos de ensino assistido por computador mais usados são:

1) Exercícios e Prática

Os professores prescrevem programas para que o aluno treine e pratique um conjunto determinado de habilidades. O computador é considerado um auxiliar eletrônico do professor, e os programas CAI são materiais educacionais nos quais estão embutidos seus métodos de ensino.

2) Tutorial

Em um programa tutorial, o computador ensina uma área de conhecimento da mesma forma que o professor na situação um-para-um. O computador fornece alguma informação e faz perguntas dentro de uma faixa limitada de respostas possíveis.

Os tutoriais permitem que o aluno siga seu próprio ritmo e dão oportunidade para responder a todas as perguntas do professor.

3) Demonstração

A maioria é modesta. São pré-programadas para seguirem uma sequência sem intervenção. Outras não têm cor, nem som e nem movimento gráfico.

4) Simulação

Um modelo de simulação imita um sistema real ou imaginário. Os alunos usam ambiente simulado para testar hipóteses sobre o problema, manipulando as variáveis a fim de verificar, no modelo, como o comportamento varia sob diversas circunstâncias.

Os alunos devem ser ensinados a questionar e explorar a validade de modelos.

5) Jogos educacionais

Os jogos educacionais computadorizados são elaborados para divertir os alunos e aumentar a chance deles aprenderem o conceito, o conteúdo ou a habilidade embutida no jogo.

II.1.2. Ambientes de aprendizagem por computador

Ao contrário da maioria dos CAI, esses ambientes de aprendizagem não contém currículo esquematizado, não são definidas as habilidades nem conceitos para serem aprendidos através do programa. Através desses ambientes, crianças e adultos podem construir seus próprios jogos, explorando sua imaginação.

II.1.3. Ferramentas de ensino/aprendizagem

Os educadores se apropriaram de várias ferramentas de caráter geral para uso em sala de aula. Entre as ferramentas utilizadas, destacam-se:

1) Editor de texto

Usado para o aluno esboçar e escrever textos, formatar o material bibliográfico, ou seja, aperfeiçoar o processo de escrita e o seu respectivo produto.

2) Programas de análise numérica

O computador é usado como uma supercalculadora. A vantagem é permitir que os alunos se envolvam em atividades de aprendizagem de conceitos, o que não faziam devido aos cálculos difíceis e cansativos.

3) Dispositivos para monitorar instrumentos

Os educadores estão usando dispositivos computadorizados para monitorar e controlar instrumentos que permitem medir, registrar e analisar tempo, corrente elétrica, temperatura e outros.

4) "Software" de alta resolução gráfica

Geram esquemas gráficos complexos, coloridos e dinâmicos.

II.1.4. Ensino gerenciado por computador

Os sistemas de ensino gerenciado por computador são usados por professores para medir e controlar o desempenho e a atividade do aluno em várias áreas.

II.1.5. Programação

O advento dos microcomputadores acarretou grande aumento do número de cursos de programação em escolas de segundo grau.

As justificativas para o uso de cursos de programação nos colégios são:

- 1) Preparar os alunos para futuro empregos e para educação universitária;
- 2) Preparar os alunos para a cidadania em uma sociedade informatizada;
- 3) utilizar a programação para aperfeiçoar as habilidades intelectuais do aluno.

II.1.6. Alfabetização por computador

Em uma sociedade apoiada no computador, os cidadãos alfabetizados deveriam ser alfabetizados em informática da mesma maneira como o são em linguagem. Parte da alfabetização em informática na escola deverá consistir na pesquisa dos aspectos da computação que os alunos encontram fora dela.

II.2. Inteligência Artificial e os sistemas ICAI (Intelligent Computer-Assisted Instruction)

A inteligência artificial é a parte da ciência da computação relacionada com projetos de sistemas inteligentes, ou seja, sistemas que apresentam características associadas ao comportamento inteligente do homem como por exemplo compreensão da linguagem, aprendizagem, raciocínio.

Os sistemas mais difundidos em educação são os CAIs.

O desenvolvimento das técnicas de Inteligência Artificial em áreas como processamento de linguagem natural, representação de conhecimento e métodos de inferência tornaram os programas CAI mais inteligentes e eficientes. Surgem, daí, os sistemas ICAI (Intelligent Computer-Assisted Instruction) conhecidos também como sistemas tutoriais inteligentes.

Os principais componentes de um sistema ICAI são:
(Veja BARR e FEIGENBAUM [3])

1) Módulo de conhecimento de solução de problema

Corresponde ao conhecimento que o sistema usa para se comunicar com o aluno. Esse módulo é encarregado de gerar problemas e avaliar a exatidão das soluções apresentadas pelo aluno.

Os sistemas ICAI se distinguem dos CAI pela separação das estratégias de ensino do conhecimento a ser ensinado.

2) Módulo de modelo de estudante

Informa o que o aluno conhece e o que ainda não sabe. Este módulo representa o conhecimento do material a ser ensinado.

O objetivo da modelagem de estudante é elaborar hipóteses sobre as noções erradas para que o módulo de tutorial possa identificá-las e sugerir correções.

3) Módulo Tutorial

Trata de como o sistema apresenta o material ao aluno.

Esse módulo é responsável pela comunicação com o estudante. Algumas tarefas do módulo tutorial são: selecionar problemas para o aluno resolver; monitorar e criticar seu desempenho; prover auxílio quando solicitado e selecionar material corretivo.

A maioria da pesquisa em ICAI tem sido em métodos de ensino baseados em modelagem de diagnósticos no qual o programa depura o entendimento do sistema.

Vários ICAIs foram desenvolvidos empregando as diversas técnicas de IA. Entre eles, destacam-se: SCHOLAR, WHY, SOPHIE, WEST, WUMPUS, GUIDON, BUGGY, EXCHECK, CARDIME. Veja BARR E FEIGENBAUM [3], CLANCEY[10], OLIVEIRA [27], SLEEMAN E BROWN [28].

II.3. Sistemas especialistas para educação

Os sistemas especialistas são programas capazes de representar e raciocinar sobre algum domínio de conhecimento com objetivo de solucionar problemas.

Os educadores têm feito pouco emprego de sistemas especialistas para tratar problemas instrucionais e gerenciais nas escolas. Os sistemas MYCIN e CADUCEUS são exemplos do uso de sistemas especialistas no ensino de Medicina.

Um dos motivos da resistência para aplicar essa nova tecnologia nas escolas se deve ao fato da maioria dos ambientes existentes serem inadequados para o uso educacional. Normalmente, têm-se produtos comerciais, projetados sem nenhuma base teórica e sem considerar o que é requerido para o sistema.

Contudo, há propostas para se projetar e construir ambientes ("shells") de sistemas especialistas especificamente para uso na área de Educação. Veja VALLEY [29].

CAPÍTULO III

III. Aspectos sobre sistemas especialistas

Um sistema especialista é um programa de computador que incorpora habilidades, experiências, inteligência de um ou mais especialistas em alguma área e aplica esse conhecimento para fazer úteis inferências para o usuário do sistema.

Uma solução inteligente de problemas é aquela que o sistema deve construir sua solução seletivamente e eficientemente a partir de um conjunto de alternativas.

Os sistemas especialistas são denominados baseados em conhecimento porque seus desempenhos dependem do uso de fatos e heurísticas.

O processo de construção de um sistema especialista é denominado engenharia do conhecimento.

A engenharia do conhecimento é a área cujo objeto de estudo é solução de problemas.

A potência de um sistema especialista é consequência do conhecimento que ele possui, e não dos esquemas específicos de formalismos e inferências que ele emprega.

A seguir, têm-se alguns exemplos de sistemas especialistas. Veja também HARMON e KING [15], HAYES-ROTH et alii [16], KLAHR e WATERMAN [23], e WINSTON e PRENDERGAIT [32].

DENDRAL (Stanford) : analisa dados experimentais químicos para inferir estruturas de compostos desconhecidos.

META-DENDRAL (Stanford) : adiciona conhecimentos ao DENDRAL.

SAINT, SIN, MATHLAB, MACSYMA (MIT) : usado para matemática simbólica.

CADUCEUS (Carnegie-Mellon) : rede semântica de relações doenças-sintomas.

MYCIN (Stanford) : diagnostica e trata doenças do sangue infeccionado.

PROSPECTOR (SRI) : relações de depósito mineral.

XCON (Carnegie-Mellon & DEC) : configura sistemas de computadores VAX 11/780.

Exemplo 1 : Exemplos de sistemas especialistas

III.1. Anatomia de um sistema especialista

A figura 1 mostra os componentes principais de um sistema especialista ideal. A maioria dos sistemas especialistas não apresenta todos estes componentes, mas um ou mais ocorre. Cada componente é descrito a seguir. Veja HAYES-ROTH et alii [16].

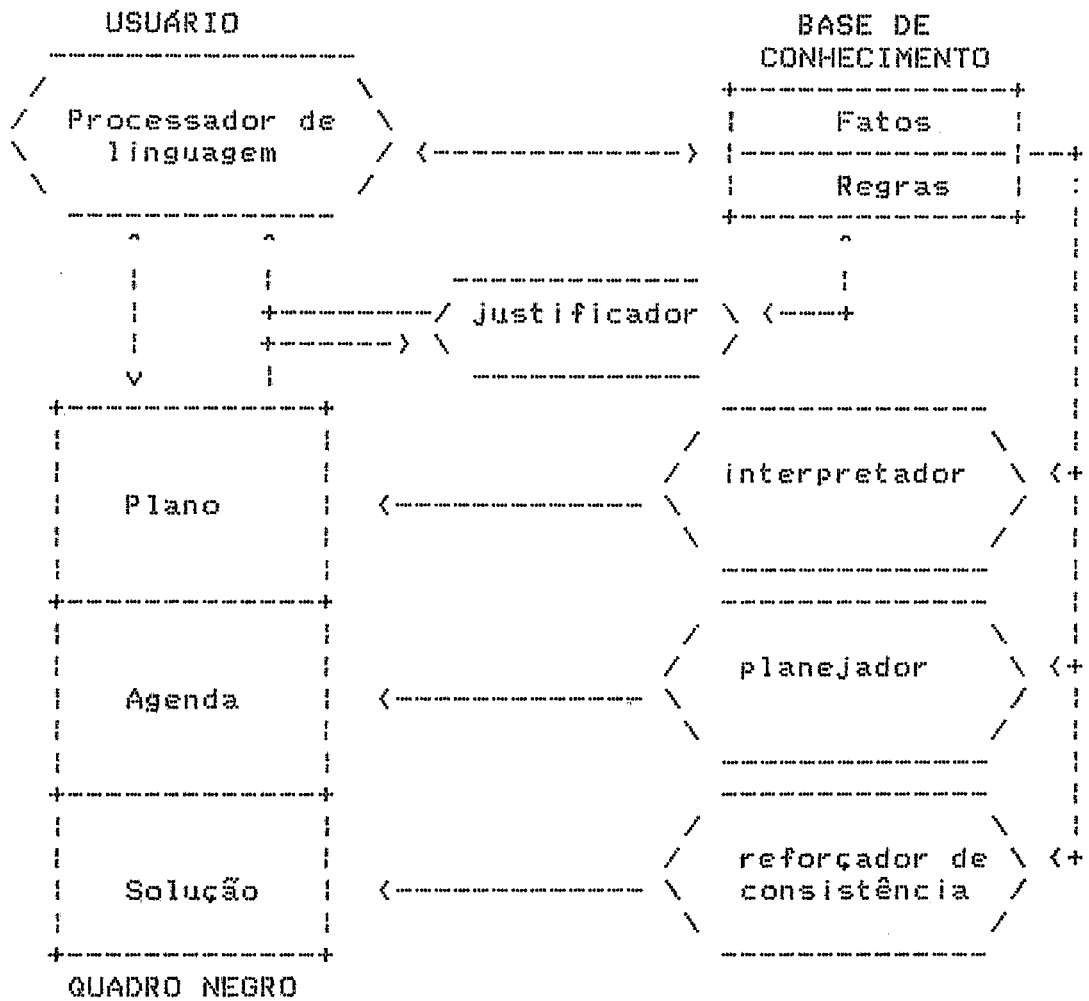


Figura 1 : Anatomia de um sistema especialista ideal

O processador de linguagem permite a interação do usuário com o sistema especialista através de uma linguagem orientada ao problema. Normalmente, utiliza-se um subconjunto de uma língua natural e em alguns casos editor gráfico.

O quadro negro guarda hipóteses e decisões intermediárias que o sistema especialista manipula. Os elementos do plano descrevem o modo que o sistema deve se comportar para resolver o problema, incluindo planos correntes, objetivos e estados dos problemas. Os elementos da agenda guardam as ações em potencial à espera de execução. E os elementos de solução representam as decisões e hipóteses candidatas que o sistema gerou até então com as dependências das decisões relacionadas.

O interpretador é responsável pela aplicação das regras.

O planejador controla a ordem de processamento das regras.

O reforçador de consistência ajusta conclusões prévias quando um novo dado modifica a base de conhecimento. A maioria dos sistemas especialistas usa algum tipo de ajuste numérico para determinar o grau de crença em cada decisão potencial.

O justificador explica as ações do sistema para o usuário.

A base de conhecimento contém fatos, bem como heurísticas e regras de solução do problema.

A complexidade da aplicação e o tipo de conhecimento disponível determinam a organização mais apropriada. A organização básica de um sistema especialista possui duas partes: uma memória e um método de inferência.

III.2. Representação do conhecimento

A representação do conhecimento está relacionada com a maneira que a informação possa estar armazenada no cérebro humano, e as maneiras através das quais os conhecimentos podem convenientemente ser armazenados em estruturas de dados para processamento simbólico.

O conhecimento consiste de descrições, relacionamentos e procedimentos em algum domínio de interesse. O conhecimento factual capta o que é verdadeiro no domínio do problema. Já o conhecimento procedimental capta estratégias para como solucionar problemas neste domínio.

A escolha da estrutura de dados depende das suposições sobre como os dados serão usados. Um editor para base de conhecimentos facilita a tarefa de entrada de conhecimentos no sistema e reduz a chance de erro.

O formalismo de representação do conhecimento precisa ser potente e flexível bastante para permitir a representação de uma variedade de tipos de conhecimento e para facilitar o processo de explicação. Os principais critérios para avaliar uma linguagem representacional são:

- 1) Adequação lógica;
- 2) Potência heurística;
- 3) Conveniência notacional.

Experiência tem mostrado que projetar uma boa representação é frequentemente a chave para tornar problemas difíceis em problemas simples.

A técnica ou combinação de técnicas de representação escolhida depende de vários fatores, entre eles:

- 1) preferência do engenheiro do conhecimento;
- 2) paradigmas do especialista;
- 3) estrutura e complexidade do conhecimento do domínio;
- 4) requisitos de implementação;
- 5) requisitos de manutenção e melhoria.

Em sistemas especialistas, representação do conhecimento implica alguma forma sistemática de codificar o que um especialista conhece sobre algum domínio. Os três principais formalismos encontrados em sistemas especialistas são: (Veja BARR e FEIGENBAUM [2], CARNOTA e TESZKIEWISCZ [8], HSU [17], JACKSON [19])

- 1) Regras de produção;
- 2) Lógica de predicado;
- 3) Objetos estruturados.

A seguir, os formalismos citados acima são discutidos.

III.2.1. Regras de produção

Um sistema de produção consiste de um conjunto de regras, um interpretador de regra que decide como e quando aplicar regras, e uma memória de trabalho que armazena dados, objetivos ou resultados intermediários.

As regras de produção apresentam a seguinte forma:

SE condições ENTÃO ações.

A maioria dos sistemas especialistas existentes usam regras de produção.

III.2.2. Lógica de predicados

A lógica é um sistema formal.

Através desse formalismo, o conhecimento pode ser representado como fatos e regras, a partir dos quais podem ser feitas inferências de forma automática.

III.2.3. Objetos estruturados

Os modelos principais de representação dessa categoria são as redes semânticas e os "frames". O conhecimento de ambos modelos está organizado em torno de objetos e eventos do universo da aplicação e a estrutura básica dos dados está inspirada nos gráficos e nas estruturas de registros.

A representação em "frames" é uma forma derivada da rede semântica. A origem histórica é um trabalho de MINSKY no qual propõe formular uma teoria global e coerente para representar o raciocínio do senso comum. Veja MINSKY [25].

Um "frame" é, essencialmente, uma descrição das estruturas de um objeto ou classe de objetos. A ênfase é sobre a estrutura dos tipos, em termos de seus atributos chamados "slots", aonde se armazenam os valores.

Normalmente, os "slots" de um "frame" incluem:

- 1) Valores;
- 2) Restrições;
- 3) Procedimentos, indicando como usar o atributo.

As relações entre "frames" são, basicamente, as mesmas que vinculavam conceitos nas redes semânticas.

Uma das características mais interessante dos "frames" é a herança de propriedades de um "frame" para outro abaixo dele na hierarquia.

Alguns dos princípios organizacionais usados para estruturar uma base de "frames" são: (Veja BRACHMAN e SCHMOLZE [6], MYLOPOULOS e LEVESQUE [26], e WINOGRAD [31])

1) Generalização

Corresponde a uma estrutura de ligações IS-A conectando conceitos àqueles dos quais são especializações.

2) Classificação

Cada "frame" representa uma classe de objetos, e uma ligação IS-A conecta uma classe a uma superclasse que a contém.

3) Agregação

Relaciona um objeto aos seus componentes ou partes.

4) Partição

Envolve agrupar objetos a elementos de relações em partições que estão organizados hierarquicamente, de forma que se a partição A está debaixo da partição B, tudo que estiver visível ou presente em B estará também em A, a menos que haja outra especificação.

Nem todas as redes semânticas tratam esses princípios da mesma maneira.

Até meados de 80, a única ferramenta baseada em "frame" usada nas escolas tem sido ES/P Frame Engine (1986). Apud VALLEY [29].

III.3. Mecanismos de inferência

Para inferir conhecimento usando regras são usados principalmente os mecanismos de encadeamento regressivo e progressivo.

O encadeamento regressivo após escolher um objetivo, uma meta, um alvo, ele seleciona regras cujos consequentes tratam desse objetivo e recursivamente tenta provar os sub-objetivos sugeridos pelos antecedentes das regras.

O encadeamento progressivo examina as premissas das regras para identificar se são verdadeiras ou não. Se forem verdadeiras as conclusões passam a fazer parte de uma lista de fatos conhecidos que expressam verdade e o sistema examina as regras de novo.

O mecanismo natural para dedução nos "frames" é a herança, tanto ao definir pertinências em uma taxonomia, através de "slots" especiais de inclusão, pertinência e subclasses, bem como ao herdar propriedades. Outra dedução automática se dá devido à restrição de valores a que está sujeito um "slot", definindo um conjunto de valores esperados.

A forma de realização da herança é por meio de um processo de reconhecimento, no qual se comparam dois objetos, um modelo e um dado, para inferir conclusões.

O mecanismo de inferência comumente usado na lógica de predicados é baseado no princípio de resolução.

III.4. Linguagem natural

A habilidade para usar linguagem para comunicar uma variedade de idéias é talvez a mais importante característica que distingue o homem dos demais animais.

A maioria dos sistemas especialistas não tratam os problemas relacionados ao processamento de linguagem natural por apresentarem um alto grau de dificuldade.

Algumas das razões que tornam o processamento de linguagem natural complicado para o computador são:

- 1) enorme quantidade de conhecimento do mundo real que deve ser representado e manipulado;
- 2) linguagem é bastante metafórica;
- 3) há relacionamentos complexos entre a estrutura de sentença e o seu significado;
- 4) alto grau de ambigüidade apresentado na linguagem natural.

III.5. Processo de aquisição do conhecimento

A aquisição de conhecimento é o processo de "extrair" conhecimento de um especialista ou fonte de cultura, como livros, base de dados, e "transferi-lo" para um programa. A aquisição depende da natureza do problema, informação disponível e talvez da inventividade do engenheiro do conhecimento.

Hoje, o conhecimento é extraído do especialista e transferido para um programa através de:

- 1) Um engenheiro de conhecimento;
- 2) Um programa de edição inteligente.

Uma representação para o modelo interno que os humanos usam para pensar sobre alguma coisa é denominada de um paradigma. Alguns tipos de paradigmas são: classificação; diagnose; hipótese e teste; colisões; projeto e configuração; planejamento e catalogação. Veja CARRICO et alii [9].

Quando entrevistar especialistas para "extrair" e estruturar conhecimento, é útil pensar em termos de um paradigma. Um engenheiro do conhecimento efetivo deve usar paradigmas como um meio para adquirir conhecimento.

Algumas diretrizes para auxiliar a identificar como um especialista pensa são:

1) Classificação

É o processo de agrupar objetos em classes.

2) Diagnose

É o processo de identificar o relacionamento padrão correto de causa-e-efeito em uma ampla série de possibilidades.

3) Hipótese e teste

É uma estratégia de solução de problema que explora o conjunto de soluções possíveis e seleciona a melhor.

4) Colisões

Usa exclusão de padrões que não são desejados.

5) Projeto e configuração

Seleciona uma combinação satisfatória de componentes, rearrumando combinações de componentes conhecidos e criando novos componentes de acordo com regras de projeto.

6) Planejamento e catalogação

Encontrar um plano ou roteiro que acomoda todas as restrições especificadas e que é bom bastante para satisfazer o usuário.

Nem todos paradigmas são apropriados em todos os domínios de aplicação. Também não se pode assumir que dois especialistas quaisquer usarão o mesmo paradigma quando trabalhando em um mesmo domínio.

É necessário aprender sobre o domínio do conhecimento antes de modelá-lo. Deve-se começar a representar o conhecimento quando estiver familiarizado com a natureza do problema, o vocabulário e o domínio dos especialistas, os processos, e o pessoal envolvido com o projeto. Ao decompor a informação do domínio em unidades ou objetos que são grupos lógicos de dados, consegue-se auxiliar o engenheiro do conhecimento e o especialista a se encontrarem em uma única parte do domínio em um dado momento e criarem módulos lógicos do domínio que são usados durante a fase de representação.

Algumas das dificuldades na aquisição do conhecimento são:

- 1) Desacordo da representação usada pelo homem da usada pelo programa;
- 2) Inabilidade do humano expressar o conhecimento dominado em termos do que é preciso, completo e consistente para usar no computador;
- 3) Limites na tecnologia de desenvolvimento de sistemas especialistas;
- 4) Complexidade de teste e refinamento do sistema especialista.

A aquisição de conhecimento é um estágio crítico do desenvolvimento de um sistema especialista. Como um processo, ele envolve dedução, análise e interpretação do conhecimento que um especialista humano usa quando resolve um problema particular e depois transforma esse conhecimento em uma representação adequada para o computador.

A aquisição do conhecimento envolve as seguintes etapas: (Veja KIDD [21])

- 1) Empregar uma técnica para obter gradualmente dados (usualmente verbal) do especialista;
- 2) Interpretar esses dados conseguidos verbalmente de forma a inferir o que pode ser o conhecimento e processos de raciocínio do especialista;
- 3) Usar esta interpretação para gerar a construção de algum modelo ou linguagem que descreve o conhecimento e desempenho do especialista.

A entrevista pessoal é a maneira mais efetiva para obter experiências e receber "feedback" imediato. Deve-se adquirir o máximo possível do vocabulário do domínio do especialista. Os objetivos da entrevista devem ser estabelecidos, identificando o que se espera realizar durante a sessão.

A entrevista deve começar recolhendo somente informações do nível mais elevado, buscando seus principais componentes e suas subpartes imediatas. Deve-se forçar o especialista pensar sobre partes de seu cotidiano.

Alguns especialistas se sentem mais confortáveis desenhando figuras, fazendo diagramas, tabelas ou gráficos, ao invés de forçá-los a pensar em termos de regras se-então comuns nos sistemas especialistas desenvolvidos.

Após encontro inicial, deve-se começar recolher dados detalhados.

É importante adquirir o máximo possível de material escrito para servir de referência no futuro.

As fontes alternativas para entrevistas pessoais podem incluir:

- 1) observar especialista no trabalho;
- 2) notas do especialista;
- 3) jornais;
- 4) livros;
- 5) questionário.

Ao se observar especialista no trabalho, os métodos para tratar a aquisição do conhecimento mais empregados são: (Veja WATERMAN [30], CARNOTA E TESZKIEWISZ [8])

- 1) Método observacional;
 - 2) Método intuitivo;
 - 3) Combinação do método observacional com o intuitivo.
- A seguir, cada método será descrito.

III.5.1. Método observacional

Consiste em observar como o especialista resolve um problema no domínio de aplicação e interpretar através da compreensão do engenheiro do conhecimento a maneira de tratá-lo. Deve-se tomar cuidado para não dizer ou fazer qualquer coisa que possa influenciar a maneira que o especialista soluciona o problema.

Esse método pode prover informação sobre a organização de uma base de conhecimento do especialista, o conhecimento que ela contém, e as estruturas de controle usadas para aplicar seletivamente esse conhecimento.

As limitações a este método são:

- 1) A presença do engenheiro do conhecimento influencia o modo de agir do especialista;
- 2) Alguns passos intermediários que o especialista realiza rapidamente passam despercebidos.

III.5.2. Método intuitivo

Consiste na introspecção por parte do especialista, ou seja, a medida que resolve um problema explica como o está fazendo.

Limitações desse método:

- 1) Dificuldades do especialista em apontar as técnicas usadas para solucionar problemas;
- 2) O conhecimento é, às vezes, acessado e manipulado sem que o especialista reflita sobre ele;
- 3) O especialista pode construir linhas de raciocínio que não refletem verdadeiramente seu comportamento.

III.5.3. Métodos observacional e intuitivo

A combinação dos dois métodos com uma participação ativa do engenheiro do conhecimento parece ser uma forma adequada de trabalho. Com esta combinação, o especialista fará introspecção enquanto solucionando um problema para o engenheiro do conhecimento e falará como ele está resolvendo.

O engenheiro do conhecimento desempenha um papel ativo, fazendo perguntas, sugerindo linhas de raciocínio possíveis, e hipotetizando conceitos e regras.

III.6. Módulos de explicação e/ou justificação

O objetivo fundamental de uma facilidade de explicação é permitir um programa exibir um motivo compreensível para todas as suas ações.

A explicação em sistemas especialistas é usualmente associada com alguma forma de investigação das regras que foram disparadas durante solução de um problema.

As questões mais críticas parecem ser:

- 1) A diferença dos diversos tipos de conhecimentos;
- 2) Conhecimento estrutural e estratégico tendem estar juntos no código do programa;
- 3) A modelagem do conhecimento ou níveis de habilidades de usuários individuais.

III.7. Ferramentas para construir sistemas especialistas

Ao decidir construir um sistema especialista, o engenheiro do conhecimento deve optar entre selecionar ou criar uma ferramenta adequada ao domínio particular de aplicação.

As ferramentas para a construção de sistemas especialistas são ambientes de programação que visam simplificar o trabalho de análise, projeto e implementação. Veja LORENZONI [24].

A maioria das ferramentas correntemente disponíveis se enquadram nas seguintes classes: (Veja BARSTOW et alii [5]; CARNOTA e TESZKIEWISCZ [8], JACKSON [19], KLAHR e WATERMAN [23], WATERMAN [30])

1) "Shells"

Um "shell" pode ser considerado como estrutura principal do sistema especialista no qual diferentes bases de conhecimentos podem preenchê-la. Ele consiste de programas que ajudam adquirir e representar o conhecimento do especialista e de programas que auxiliam projetar o sistema especialista em construção.

Os "shells" não estão presos a um domínio específico. Eles são usados para resolver problemas em uma variedade de aplicações.

Os "shells" permitem que pessoas que não programam possam solucionar problemas através deles.

2) Linguagem de programação de alto nível

As linguagens de programação usadas para aplicações de sistemas especialistas são geralmente linguagens orientadas a problemas, como FORTRAN e PASCAL, ou linguagens de manipulação simbólica, como LISP e PROLOG.

3) Ambientes de programação mista

Ambientes de programação mista constituem um conjunto de módulos que permitem o programador incorporar vários paradigmas de programação.

Esses ambientes são para programadores hábeis. Programar em mais de um estilo usando mais de uma linguagem é complicado a menos que se conheça exatamente o que se está fazendo.

III.8. Seleção de uma ferramenta de desenvolvimento de sistemas especialistas

Quanto mais geral o controle e a representação, maior o consumo de tempo e dificuldades na representação do conhecimento devido ao excessivo grau de liberdade. Por isso, uma ferramenta para aplicações de engenharia do conhecimento precisa ser tão especializada quanto o possível.

O excesso de generalidades acarreta ineficiência e perda da potência. Quanto mais rígido e restrito o controle e a representação, mais fácil se torna representar o conhecimento, interagir com o usuário, explicar o raciocínio.

É prudente, então, ao desenvolver um sistema especialista, escolher a classe alvo dos problemas para depois incorporar no projeto de uma ferramenta somente o suficiente de generalidade para abranger esta classe.

O aspecto mais difícil na escolha de uma ferramenta apropriada é combinar as características do problema às da ferramenta. As características da ferramenta dependem:

- 1) das características do problema;
- 2) das características da abordagem provável para solucionar o problema;
- 3) das características desejadas do sistema especialista a ser construído.

III.9. Fases de desenvolvimento de sistemas especialistas

O processo de construção de um sistema especialista é naturalmente experimental.

Algumas guias para construção de sistema especialista são:

- 1) Tornar-se familiar com o problema antes de começar a interação extensiva com o especialista;
- 2) Identificar e caracterizar claramente os aspectos importantes do problema;
- 3) Escolher uma ferramenta de engenharia do conhecimento ou arquitetura que minimiza as diferenças representacionais entre os subproblemas.

Os estágios de evolução de um sistema especialista são : (Veja BUCHANAN et alii [7], CARNOTA e TESZKIEWISCZ [8])

- 1) Identificação;
- 2) Conceitualização;
- 3) Formalização;
- 4) Implementação;
- 5) Teste;
- 6) Revisão.

A seguir, cada fase será descrita em detalhe.

III.9.1. Identificação

Consiste em caracterizar os aspectos importantes do problema:

- 1) Identificar os participantes e suas respectivas funções;
- 2) Identificar o problema: definição; características; subproblemas; quais os dados; interrelações; tipo de solução; processo de raciocínio;
- 3) Identificar recursos:
 - a) Fontes de conhecimento;
 - b) Tempo;
 - c) Facilidades de computação;
 - d) Dinheiro;
- 4) Identificar objetivos;
- 5) Identificar os tipos de conhecimento e determinar suas fontes.

III.9.2. Conceitualização

Consiste em encontrar conceitos para representar o conhecimento. Os conceitos-chave e as relações mencionadas na fase de identificação são explicitados:

- 1) tipos de dados;
- 2) o que é dado e o que é inferido;
- 3) nomes das subtarefas e estratégias;
- 4) quais as hipóteses;
- 5) relação entre os objetos no domínio;
- 6) identificar hierarquias: relações de causa, inclusão, parte-todo;
- 7) processos envolvidos na solução do problema;
- 8) restrições nos processos;
- 9) fluxo de informação.

III.9.3. Formalização

Consiste em projetar estruturas para organizar o conhecimento. Nesta fase se mapeiam os conceitos-chave, os subproblemas e as características do fluxo de informação em representações formais baseada em ferramentas da engenharia do conhecimento.

III.9.4. Implementação

Consiste em mapear o conhecimento formalizado na estrutura representacional associada com a ferramenta escolhida para o problema.

III.9.5. Teste

Consiste em avaliar o sistema protótipo e as formas representacionais usadas para implementá-lo. Esta avaliação pode ser realizada através de duas formas: uma depuração geral e uma comprovação do sistema com usuários reais.

Na depuração geral, procura-se detectar erros do sistema como conceitos e relações omitidos, nível de abstração incorreto, mecanismos de controle complexos desnecessariamente. Esses erros podem ser identificados realizando provas com casos típicos. Também é importante avaliar o rendimento e a utilidade do sistema.

O sistema deve ser avaliado com usuários reais para comprovar se ele será realmente rápido, confiável, fácil de usar e entender, e tolerante com relação aos erros omitidos.

III.9.6. Revisão

É constante e envolve a reformulação de conceitos, o reprojeto de representações ou refinamento do sistema implementado.

CAPÍTULO IV

IV. Descrição de uma ferramenta de desenvolvimento de sistemas especialistas para área de Física Experimental

O computador na escola faz uso de dois tipos de ferramentas: ativa e passiva. As ferramentas ativas são aquelas que tentam instruir o estudante em uma direção determinada. Já as ferramentas passivas podem oferecer um ambiente rico de possibilidades para investigação, testes de hipóteses e propiciar descobertas, mas não tem qualquer estratégia específica de instrução relacionada. A maioria dos sistemas tutoriais inteligentes tenta conciliar estes dois aspectos. Os ambientes de desenvolvimento de sistemas especialistas são eficazes como ferramentas passivas de aprendizagem em vários domínios de aplicação.

Ao se projetar um sistema especialista, deve-se considerar questões como as seguintes: (Veja HOFMEISTER [18])

- 1) Que tipos de problemas precisam os sistemas especialistas tratar?
- 2) Que tipo de informação os sistemas especialistas devem prover?
- 3) Quem irá usar o sistema?
- 4) Sob que condições o sistema será usado?
- 5) Que ferramentas de "software" e "hardware" são as mais promissoras?

Um ambiente de sistema especialista apresenta três usos básicos:

- 1) Consultar uma base de conhecimentos;
- 2) Construir uma nova base de conhecimentos;
- 3) Alterar uma base de conhecimento.

Se o aluno pretende aprender algo sobre o domínio da base de conhecimento que está sendo consultado, é importante que a ferramenta possa exibir esse conhecimento e possa explicar e justificar seu raciocínio e suas conclusões de maneira informativa.

Construir uma base de conhecimento é a tarefa mais difícil, pois requer que o conhecimento seja adquirido, organizado e representado. Na construção, habilidade pode ser obtida nessas tarefas e conseqüentemente o estudante pode aprender sobre o domínio referido.

Alterar segue o mesmo raciocínio dos dois anteriores, possibilitando muitas das habilidades serem aplicadas.

Os processos envolvidos nos três usos básicos de uma ferramenta para sistemas especialistas podem prover possibilidades de aprendizado proveitosas, assim como especificamente no domínio da aplicação consultado ou representado e geralmente no uso de sistemas especialistas e ferramentas, e também nos processos de aquisição, organização e representação do conhecimento.

Contudo, sabe-se pouco sobre os benefícios do uso dessas ferramentas para os alunos.

Há várias restrições no projeto de uma ferramenta de uso educacional, para as quais as ferramentas existentes prestam pouca atenção, como por exemplo aceitação, tempo e motivação do usuário. Algumas consequências são especialistas aborrecidos com ferramentas simples e usuários novos se sentindo confusos com ferramentas complexas.

IV.1. Projeto Labor e a ferramenta de sistemas especialistas

LABOR é um produto de "software" e "hardware" integrando múltiplas funções, permitindo que o computador possa ser utilizado como ferramenta auxiliar em laboratórios de ciências experimentais, como Física, Química e Biologia. Veja BARROS et alii [4].

A definição da ferramenta LABOR foi baseada no ciclo de atividades de um aluno em laboratório. Constatou-se que as tarefas básicas são:

- 1) Compreensão do experimento;
- 2) Execução do experimento para coleta de dados;
- 3) Análise dos dados obtidos;
- 4) Elaboração de relatórios.

Os usuários principais do laboratório são o professor que detém o conhecimento científico e age como elemento provocador e o aluno que detém parte deste conhecimento e utiliza o laboratório para testar hipóteses e criar novos modelos.

O sistema é composto de ferramentas para:

- 1) Edição de textos;
- 2) Cálculos estatísticos;
- 3) Aquisição de dados;
- 4) Geração de gráficos;
- 5) Edição gráfica;
- 6) Modelagem de dados;
- 7) Sistema especialista;
- 8) Sistema hipertexto;
- 9) Comunicação via rede.

O módulo de sistema especialista é o responsável pelo desenvolvimento/consulta de sistemas especialistas. A funcionalidade desses sistemas especialistas no projeto LABOR consiste em possibilitar a criação de modelos teóricos, conceituais, mais próximos do real para alcançar o melhor modelo descritivo das experiências realizadas.

IV.2. Metodologia de trabalho

A construção de sistemas especialistas é uma atividade recente para qual ainda não existem metodologias estabelecidas. No estado atual da arte, tem-se uma atividade essencialmente artesanal.

Algumas metodologias foram criadas para formalizar esse processo de construção de sistema especialista. Pode-se citar como exemplos KADS (Knowledge Acquisition and Documentation Structuring) e PLANET (Personal Learning Analysis, Negotiation and Elicitation Techniques). Veja KIDD [22].

Este trabalho pode ser dividido em duas partes: a seleção de um domínio de aplicação e sessões do engenheiro do conhecimento com o especialista do domínio escolhido. A seguir, cada parte dessa será descrita minuciosamente.

IV.2.1. Seleção de um domínio de aplicação

Para selecionar um domínio de aplicação deve ser feito o reconhecimento das tarefas para as quais a construção de um sistema especialista resulta ser possível, adequado e justificado.

Tem-se construído sistema especialista para os mais variados domínios da atividade humana: agricultura, química, eletrônica, engenharia, geologia, medicina, física, e outras.

A condição básica para que o desenvolvimento de sistema especialista seja possível é que exista um especialista humano capaz de resolver o problema.

É necessário que a aplicação não dependa excessivamente do senso comum. O senso comum constitui um conjunto de conhecimentos práticos demasiadamente amplo que em geral não é bem tratado por um sistema especialista. O conhecimento não sendo preciso torna mais difícil a representação. A aplicação não deve ser muito complexa.

O desenvolvimento de sistema especialista é adequado quando a solução do problema é de natureza essencialmente simbólica e não consiste em puro cálculo.

O desenvolvimento de sistema especialista está justificado quando o problema tem importância econômica, política ou social para quem deve resolvê-lo. Como por exemplo, quando o especialista é necessário em lugares distintos.

O domínio de aplicação escolhido foi Física Experimental. A construção de sistema especialista para Física Experimental é possível, visto que existe um especialista humano capaz de resolver problemas relacionados a esta área embora dependa do senso comum. É adequada pois pode-se tratar seus problemas através de modelos conceituais. E se justifica por possibilitar que um grupo de alunos compartilhem de uma mesma base de conhecimentos.

Dada a complexidade de análise e integração de diversas áreas de ciências experimentais, optou-se por uma específica.

IV.2.2. Sessões do engenheiro do conhecimento com um especialista

Uma vez selecionado um domínio de aplicação para desenvolver um sistema especialista, inicia-se o processo de aquisição de conhecimento. Este processo consiste, em geral, em uma série prolongada de intensas e sistemáticas entrevistas pessoais.

Durante as sessões do engenheiro do conhecimento com o especialista, além das entrevistas realizadas, observou-se bastante o especialista à medida que resolvia problemas. Nesse caso, empregou-se uma combinação dos métodos observacional e intuitivo. Na aquisição do conhecimento, utilizaram-se também o manual de Física Experimental da UFRJ, notas do especialista e artigos da área de Física, alguns selecionados também pelo próprio especialista.

No projeto LABOR, não houve reação do especialista com relação ao uso do computador, pois o mesmo é consciente de sua importância para o ensino. O especialista já havia feito curso de computação, evitando perda de tempo na aquisição se comparada aos especialistas leigos em Informática.

As sessões com especialista ocorreram no próprio departamento de Física, mais precisamente na sala do especialista. A aquisição realizada no próprio ambiente de trabalho propiciou um estudo mais envolvente. A proximidade dos livros do especialista e da biblioteca do departamento facilitou a pesquisa quando se tinha dúvidas ou se buscava referências para fundamentar a proposta da ferramenta.

Somente um especialista participou do processo de aquisição do conhecimento. Essa é uma das limitações dessa fase, pois outras interpretações dos problemas tratados não foram consideradas.

A pesquisa foi, então, dividida em duas partes descritas a seguir: processo de aquisição do conhecimento e desenvolvimento de um sistema especialista.

IV.2.2.1. Processo de aquisição do conhecimento

O processo de aquisição do conhecimento propriamente dito foi dividido nos estágios abaixo que serão descritos posteriormente:

- 1) Analisar conhecimento da Física Experimental;
- 2) Elaborar um protótipo usando uma ferramenta de propósito geral;
- 3) Avaliar protótipo e dificuldades de aquisição do conhecimento;
- 4) Descrever uma arquitetura de ambiente para Física Experimental;
- 5) Implementar a ferramenta.

A análise do conhecimento da Física Experimental serviu tanto para delinear uma ferramenta adequada para o ensino como também para criar um sistema especialista. Nessa fase, identificam-se os paradigmas usados pelo especialista ao solucionar problemas. O paradigma básico encontrado nessa análise é o de classificação. O especialista estabelece objetivos para um assunto da Física e determina todo o conhecimento associado a cada um deles.

Realizada uma parte da análise do conhecimento, é importante elaborar um protótipo de sistema especialista para verificar as dificuldades iniciais de implementação. Essas dificuldades podem estar também ligadas com a ferramenta selecionada para trabalhar. Para Física, utilizou-se uma ferramenta de propósito geral baseada em regras, representação do conhecimento mais difundida entre os sistemas especialistas existentes.

A avaliação do protótipo desenvolvido deve ser feita para corrigir possíveis erros cometidos na implementação ou em fases anteriores do desenvolvimento de sistemas especialistas.

A descrição de uma ferramenta apropriada para Física se deve ao fato de seu conhecimento apresentar características distintas requerendo mais de um tipo de representação. Baseado nas dificuldades determinadas no protótipo desenvolvido, torna-se mais fácil descrever uma arquitetura de ambiente mais próxima do ideal. A ferramenta descrita segundo as informações recolhidas pelo engenheiro do conhecimento deve ser aprovada pelo especialista.

A implementação da ferramenta não necessita do acompanhamento do especialista. Porém, é importante que o engenheiro do conhecimento respeite obrigatoriamente as especificações do projeto proposto, aprovadas pelas duas partes.

IV.2.2.2. Desenvolvimento de um sistema especialista

Esta etapa consiste em especificar as diretrizes para desenvolver/consultar sistemas especialistas utilizando a ferramenta implementada, bem como escolher um assunto da disciplina Física Experimental e construir um sistema especialista. Estas tarefas estão descritas nos capítulos VI e VII respectivamente.

O desenvolvimento do sistema especialista para Física se deu concomitantemente ao processo de aquisição do conhecimento. Entretanto, o sistema só foi finalizado após a implementação da ferramenta proposta.

Assim como a ferramenta implementada, as diretrizes para desenvolver/consultar sistemas especialistas são propostas baseadas nas características da área de Física. Essas características são obtidas através do processo de aquisição do conhecimento.

Construir um sistema especialista para Física consiste em escolher um assunto para estudo. Inicialmente, buscam-se informações do nível mais elevado, como por exemplo os objetivos que o sistema pretende concluir. Em seguida, deve-se detalhá-los o suficiente para que o sistema possa atingi-los.

IV.3. Características da área de Física Experimental

A aquisição do conhecimento se deu através de entrevistas com um especialista da área de Física Experimental. Várias sessões foram realizadas para se obter, analisar e formalizar o conhecimento do especialista.

Ao iniciar o processo de aquisição do conhecimento, é importante que o engenheiro de conhecimento obtenha informações da área em interesse antes da primeira entrevista com o especialista. É útil solicitar a bibliografia básica para poder formular as observações necessárias. Veja ELIA e BARROS [12].

Nas entrevistas é muito importante realizar a análise de casos. É também importante tratar de entender a linha de raciocínio que o especialista utiliza realmente, que dados considera, porque usa dessa maneira. O estudo de exemplos permite formular regras específicas relacionadas com problemas particulares.

IV.3.1. Conhecimento da Física Experimental

Basicamente, pode-se dizer que a física apresenta embutida em seu conhecimento (crenças) aspectos da seguinte natureza:

- 1) Qualitativa;
- 2) Quantitativa;
- 3) Gráfica.

Os aspectos qualitativos compreendem os conceitos relevantes para descrever parte do mundo físico sob consideração.

Os aspectos quantitativos são caracterizados por fórmulas, expressões matemáticas.

Os aspectos gráficos correspondem a representação de gráficos a partir de dados quantitativos.

O ensino de Física tem mostrado que o uso excessivo de fórmulas não torna o mundo físico suficientemente transparente para o aluno (Veja ABREU FILHO [1]). Além disso, não é objetivo do projeto LABOR criar sistema especialista direcionado somente para a gerência de pacotes numéricos.

A solução para esses problemas parece estar nas teorias do senso comum sobre o mundo físico diário que constituem uma importante parte do conhecimento humano. Os modelos de senso comum usados no dia a dia parecem ser de natureza qualitativa.

O problema de construir modelos qualitativos capazes de suportar raciocínio físico pode ser abordado de duas formas distintas: (Veja HARDT [14])

- 1) Simplificar as equações matemáticas descrevendo o sistema e substituindo-as por equações qualitativas;
- 2) Construir modelos cognitivos (senso comum) que uma pessoa pode usar para raciocinar sobre os processos sob consideração.

No primeiro caso a estrutura conceitual é um modelo matemático derivado para estudos numéricos exatos e convertidos em uma forma qualitativa. No segundo, a estrutura conceitual é uma transformulação de uma abstração de alguma percepção intuitiva do processo que está sendo modelado.

Neste trabalho, aproveitou-se um pouco das características de cada uma das formas de construção de modelos qualitativos para representar o conhecimento da Física.

IV.3.2. Estratégias de ensino/aprendizagem de Física em laboratório

O ensino/aprendizagem de Física no laboratório da Universidade Federal do Rio de Janeiro envolve, basicamente, duas estratégias ilustradas na figura 2 abaixo:

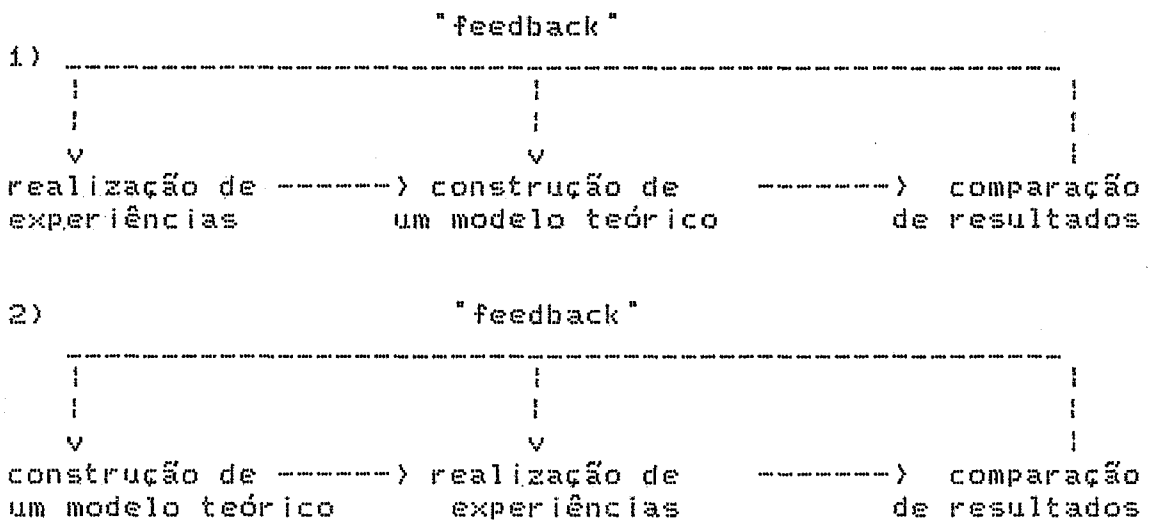


Figura 2: Estratégias de ensino/aprendizagem de Física em laboratório

IV.4. Participantes envolvidos no projeto

Os participantes envolvidos no desenvolvimento e utilização da ferramenta projetada são:

1) Engenheiro do conhecimento

O trabalho do engenheiro do conhecimento é agir como um mediador para auxiliar um especialista na construção de um sistema.

Um dos aspectos difíceis da tarefa do engenheiro do conhecimento é ajudar o especialista a estruturar o conhecimento, identificar e formalizar os conceitos do domínio.

2) Professores

Os professores, no projeto, desempenham o papel do especialista.

Os especialistas, normalmente, têm menos dificuldades em determinar o conhecimento factual do que determinar o conhecimento de controle, sobre quando e como usar os fatos.

O especialista é quem fornece o conhecimento para alimentar o sistema.

3) Alunos

Os alunos são os usuários do sistema especialista.

Em um estágio mais avançado, os alunos poderão se tornar especialistas e possibilitar um intercâmbio maior de conhecimento entre professor-aluno.

IV.5. Dificuldades do processo de aquisição do conhecimento

As dificuldades do processo de aquisição do conhecimento na área de Física Experimental ocorreram principalmente pelo hibridismo de seu conhecimento ao considerar aspectos qualitativos e quantitativos. Por ser uma área onde o senso comum é bastante utilizado, a aquisição se tornou um tanto quanto complexa e lenta.

Em entrevistas com o professor (especialista) de Física Experimental, ficou claro que o uso de fórmulas e expressões matemáticas é o formalismo mais difundido para descrever o mundo físico em consideração. Entretanto, constatou-se que o manuseio desse formalismo encobria as descrições qualitativas do conhecimento que o físico realmente utiliza para resolver problemas. Possivelmente, esta é uma das causas da dificuldade dos alunos de Física em compreender o raciocínio de solução do problema.

Após análise de parte desse conhecimento, identificou-se que é necessário ter dois formalismos para representar os aspectos qualitativos e quantitativos da Física. Isto ficou comprovado ao se tentar desenvolver um protótipo de sistema especialista para Física.

O protótipo foi desenvolvido usando uma ferramenta de propósito geral denominada EXSYS (Veja EXSYS [13]). A dificuldade maior foi inserir nessa ferramenta os aspectos quantitativos representados pelas fórmulas. A utilização de uma única representação, no caso regras, inviabilizou o uso da ferramenta.

IV.6. Viabilidade de ferramentas de construção de sistemas especialistas

Uma ferramenta que enquadra uma área de problema particular pode facilitar o processo de construção, reduzir o tempo de desenvolvimento e dirigir a um produto final que tem um desempenho de alto grau de eficiência.

As principais diretrizes para escolher uma ferramenta apropriada são:

1) Generalidade

Escolher uma ferramenta com somente a generalidade necessária para resolver o problema.

2) Seleção

Deixar as características do problema determinar a ferramenta selecionada.

3) Velocidade

Escolher uma ferramenta com facilidades de explicação e interação embutidas.

4) Teste

Testar a ferramenta antecipadamente construindo um protótipo pequeno.

A melhor solução conhecida para aquisição do conhecimento são "shells" para sistemas especialistas, ou seja, editores para base de conhecimento com mecanismos de inferência próprios. Essas ferramentas podem facilitar implementação e alguma gerência da informação ao tratar de conhecimento de especialistas, mas eles também apresentam limitações no formalismo que suportam.

O produto EXSYS é uma ferramenta de desenvolvimento de sistemas especialistas de propósito geral (Veja EXSYS [13]). Nesse projeto o EXSYS será usado para incorporar o conhecimento relativo aos aspectos qualitativos da Física. O conhecimento relativo aos aspectos quantitativos será armazenado em uma base de fórmulas cuja representação é baseada em "frames".

IV.8. Descrição dos componentes da ferramenta

Os componentes básicos da ferramenta de desenvolvimento/consulta de sistemas especialistas são:

- 1) Base de conhecimento;
- 2) Motor de inferência;
- 3) Interface;
- 4) Explicação e/ou justificação.

Cada componente será descrito a seguir.

IV.8.1. Base de conhecimento

A base de conhecimento compreende o conjunto de conhecimentos do sistema especialista. Nesta ferramenta, pode-se encontrar os seguintes tipos de conhecimentos:

- 1) Objetivos;
- 2) Fatos;
- 3) Regras;
- 4) Hipóteses;
- 5) Fórmulas;
- 6) Pacotes numéricos;
- 7) Gráficos.

Os objetivos são todas as possíveis soluções para o problema entre as quais o sistema especialista poderá decidir.

Os fatos são textos ou expressões matemáticas. Os textos são sentenças que podem ser verdadeiras ou falsas.

As regras representam um tipo de formalismo usado para resolver um problema. Basicamente apresentam a seguinte estrutura:

SE condições ENTÃO ações,

onde condições são fatos e ações podem ser fatos e/ou objetivos.

As hipóteses são conjunto de fatos selecionados em alguma sessão de consulta ou considerados como pressupostos.

As fórmulas constituem uma base de conhecimento usando a representação de "frames" para descrever conceitos relacionados.

Os pacotes numéricos compreendem um conjunto de programas para solucionar as fórmulas e representar os dados experimentais na forma de gráficos.

Os gráficos são produtos dos dados experimentais e da resolução das fórmulas acionadas.

Para representar o conhecimento serão utilizados dois formalismos: regras e "frames". As regras são usadas para representar o conhecimento qualitativo. Os "frames" são usados para representar o conhecimento quantitativo. Dessa forma, tenta-se minimizar a dificuldade existente em adquirir descritivamente os aspectos quantitativos da Física.

Os pacotes numéricos e os gráficos não foram tratados nessa pesquisa. É bom salientar que os pacotes numéricos devem ser programados pelos professores através de uma linguagem de programação apropriada.

Os editores de conhecimento são usados para inserir, modificar, retirar ou consultar conhecimento na base.

IV.8.2. Motor de inferência

O encadeamento regressivo será usado na base de regras. Para se estabelecer um modelo conceitual, ou seja, os fatos, parte-se dos objetivos estabelecidos.

A medida que vão sendo atingidos os objetivos, são conhecidos os qualitativos relacionados ao modelo conceitual. Esses qualitativos acionarão as fórmulas que mais se aproximam do modelo criado pelo aluno.

Uma vez as fórmulas selecionadas, obtém-se o conhecimento descritivo embutido nas fórmulas, através do mecanismo de herança.

IV.8.3. Interface

A interface foi projetada de maneira a levar em consideração as categorias de usuários existentes: professores e alunos. A interface utiliza as mesmas rotinas desenvolvidas para o projeto LABOR. É através de janelas e cardápios que o usuário tem acesso ao sistema.

IV.8.4. Explicador e/ou justificador

O módulo de explicação e/ou justificação só existe em parte para base de regras. Este módulo já está definido no próprio sistema EXSYS.

Através do comando WHY o sistema informa a regra que ele está tentando determinar se é válida.

Quando uma regra é mostrada, o usuário pode perguntar também como o computador sabe que uma condição é verdadeira. O sistema poderá responder das seguintes maneiras:

- 1) mostrar a regra ou regras que permitem inferir a informação;
- 2) a informação foi dada como sendo verdadeira;
- 3) não sabe informar se a condição é ou não verdadeira.

CAPÍTULO V

V. Implementação da ferramenta proposta

Neste capítulo, descrevem-se as maneiras utilizadas para implementar a ferramenta proposta no capítulo anterior.

Explica-se o motivo de ter optado pela linguagem C, o tipo de interface de janelas e cardápios usados e descrevem-se as operações principais da ferramenta.

Esta ferramenta foi desenvolvida para microcomputadores PC-XT compatíveis.

V.1. Linguagem de programação escolhida

A linguagem C foi escolhida por vários motivos: (Veja KERNIGHAN e RITCHIE [20])

- 1) Ser uma linguagem de propósito geral;
- 2) Facilidade de programação em baixo nível;
- 3) Por seu código ser relativamente pequeno, pode ser descrito em um espaço pequeno e aprendido rapidamente;
- 4) É uma linguagem eficaz e expressiva para uma ampla variedade de aplicações de programação;
- 5) Compatibilidade com o projeto LABOR e o sistema EXSYS.

Optou-se pelo TURBO C por ser bastante difundido e seu desempenho ser razoável.

V.2. Interface

A interface utilizada é a mesma definida para a ferramenta geral do LABOR. Ela consiste basicamente de janelas e cardápios.

As janelas apresentam título e um cardápio associado. O conteúdo da janela pode ser um texto ou mensagens não editáveis.

As operações principais da interface com o usuário são:

- 1) Abrir janela;
- 2) Fechar janela;
- 3) Reativar janela.

Alguns controles devem ser observados como por exemplo as marcas de ativação, a colocação do título e dos cardápios.

A janela de mensagem não possui título e o seu conteúdo é o próprio texto. A janela de mensagem de erro se apresenta da mesma forma com fundo branco e letra preta.

V.3. Operações da ferramenta

As principais operações da ferramenta compreendem:

- 1) Senha
- 2) Arquivo
- 3) Editar
- 4) Executar
- 5) Listar
- 6) Sair

A seguir, descreve-se cada uma dessas operações.

V.3.1. Operação SENHA

Sua função é identificar os usuários que poderão ter acesso ao sistema. É uma operação exclusiva do professor.

As opções são:

- 1) Incluir;
- 2) Alterar;
- 3) Excluir.
- 4) Consultar.

Os campos principais são:

- 1) nome do usuário;
- 2) senha;
- 3) categoria do usuário.

Há duas categorias de usuário: professor e aluno. A categoria professor tem privilégio máximo e permite o usuário manipular todas as operações da ferramenta. A categoria aluno faz restrições ao uso de determinadas operações. Na operação ARQUIVO, o aluno só pode carregar base de conhecimento e verificar diretório das bases. Já a operação EDITAR é exclusiva da categoria professor.

V.3.2. Operação ARQUIVO

A operação arquivo apresenta as seguintes funções:

- 1) Carregar base de conhecimento;
- 2) Salvar base de conhecimento;
- 3) Criar base de conhecimento;
- 4) Diretório.

As funções de salvar e criar são exclusivas do professor.

Os principais campos são:

- 1) nome da base;
- 2) tipo da base.

V.3.3. Operação EDITAR

Consiste em incluir, modificar, retirar e consultar conhecimento nas bases de conhecimento.

Os conhecimentos podem ser agrupados da seguinte forma:

- 1) Objetivos, fatos, regras e hipóteses;
- 2) Fórmulas;
- 3) Pacotes numéricos;
- 4) Gráficos.

A seguir serão descritos os itens 1 e 2. Os pacotes numéricos e os gráficos não foram implementados.

V.3.3.1. Objetivos, fatos, regras e hipóteses

A ferramenta EXSYS foi utilizada para editar os objetivos, fatos, regras e hipóteses. Veja EXSYS [13]. O editor EDITXS é usado para incluir, modificar e excluir esses conhecimentos.

Os objetivos possuem dois campos básicos para serem preenchidos:

- 1) Descrição do objetivo;
- 2) Valor de probabilidade, que pode ser usado como fator de confiança.

Os fatos podem se apresentar de duas formas:

- 1) Texto, podendo assumir a forma de ATRIBUTO-OBJETO-VALOR;
- 2) Expressões matemáticas/variáveis

As variáveis serão fundamentalmente usadas para especificar o qualitativo ao qual está sendo dado ênfase. Os valores dessas variáveis são armazenados em uma lista de qualitativos referidos.

Uma regra é dividida em cinco partes:

SE

condições

ENTÃO

condições

e objetivos

SENÃO

condições

e objetivos

NOTA

REFERÊNCIA

As condições correspondem a fatos, expressões matemáticas ou variáveis.

A nota não tem nenhum significado para o programa. É apenas para informação do usuário. A nota pode significar, por exemplo, a prioridade ou o mérito ou frequência de uso da regra.

A referência, como a nota, pode auxiliar o usuário em informações como: fonte de conhecimento, livros e/ou especialista; data de criação da regra.

As hipóteses correspondem ao conjunto de fatos selecionados em alguma sessão de consulta. Posteriormente, as hipóteses serão apresentadas ao professor para avaliar o raciocínio usado pelo aluno.

V.3.3.2. Fórmulas

Este trabalho visa, principalmente, construir uma base de fórmulas usando "frames".

A estrutura básica de "frames" para base de fórmulas é a seguinte:

- 1) Código de referência ao objeto;
- 2) Objeto;
- 3) Descrição geral do objeto;
- 4) Atributos:
 - 4.1) Nível;
 - 4.2) Nome;
 - 4.3) Valores:
 - 4.3.1) Tipo;
 - 4.3.2) Valor.

O código de referência ao objeto é um valor numérico inteiro que indica a identificação do objeto para o sistema. Esse código é usado em referências feitas a algum objeto da base de fórmulas.

O objeto tratado nessa base de conhecimento é uma fórmula. Essa fórmula corresponde a uma expressão matemática.

A descrição geral do objeto apresenta informações conceituais da fórmula considerada.

Os atributos são conhecimentos que caracterizam o objeto. Cada objeto pode apresentar vários atributos. A cada atributo estão associados um nível, nome e valores.

O nível de um atributo serve para indicar a sua hierarquia em relação a um objeto e/ou atributos específicos.

Em relação a um objeto, o nível indica os atributos principais. Em relação a um outro atributo, o nível informa os seus subatributos. Um exemplo pode ser o mostrado no exemplo 2 a seguir:

<u>nível</u>	<u>objeto/atributo</u>
1	$V = \Delta S / \Delta T$
11	Qualitativos
111	Posição
112	Tempo
12	Unidade-métrica

Exemplo 2: Estrutura parcial de um "frame" para fórmulas

Neste exemplo, o objeto é $V = \Delta S / \Delta T$. Os atributos principais são QUALITATIVOS e UNIDADE-MÉTRICA. E os subatributos de QUALITATIVOS são POSIÇÃO e TEMPO.

O nome do atributo corresponde a uma característica do objeto. Cada atributo requer pelo menos um valor associado.

O campo valores é composto por um conjunto de tipo de valor e valor associados a cada atributo.

Os tipos de valores possíveis são:

- 1) Q (Questão);
- 2) L ("Link");
- 3) V (Valor);
- 4) D ("Default");
- 5) R (Restrição);
- 6) P (Programa).

O tipo de valor Q apresenta no campo valor uma questão que deve ser apresentada no cardápio da interface.

O tipo de valor L indica que no campo valor haverá um código de referência a um objeto. Este tipo é usado para efetivar os princípios de agregação e generalização de atributos.

Entre os atributos relacionados ao objeto fórmula, dois se destacam e obrigatoriamente são usados para estabelecer as ligações ("Link") entre os diversos objetos. Esses atributos são QUALITATIVOS e CASOS.

O atributo QUALITATIVOS representa os conceitos envolvidos com a fórmula. Pode-se dizer também que através dele se especificam os componentes da fórmula. Por isso, o atributo QUALITATIVOS é usado para relacionar um objeto aos seus componentes ou partes, característica do princípio organizacional de agregação. Ao se ter um tipo de valor L em algum subatributo de QUALITATIVOS, isto significa que no campo valor se tem a referência a um objeto componente do objeto em consideração. No exemplo 2 anterior, tem-se posição e tempo como subatributos de QUALITATIVOS, ou seja, representam conceitos ou melhor dizendo componentes da fórmula $V = \Delta S / \Delta T$. A cada subatributo posição e tempo, pode-se associar um tipo de valor L, onde o valor corresponde a referência da fórmula de posição e tempo.

O atributo CASOS estabelece os casos possíveis para uma determinada fórmula. Os casos são estabelecidos através do tipo de valor L. Cada subatributo de CASOS contém um valor que faz referência a uma fórmula que é um caso do objeto em consideração. Da mesma forma que há o atributo CASOS, tem-se também, em contrapartida, o atributo UM-CASO-DE que informa de que fórmulas o objeto pode ser um caso. Este tipo de atributo corresponde ao princípio organizacional de generalização, onde conceitos mais gerais são conectados a suas especializações. No exemplo 3, tem-se um exemplo de atributos CASOS e UM-CASO-DE:

- | | |
|-------------------------|--------------------------------|
| 1. $X(T) = X_0 + V_0T$ | 2. $X(T) = X_0$ |
| 1.1. CASOS | 2.1. UM-CASO-DE |
| 1.1.1. $X(T) = X_0$ L:2 | 2.1.2. $X(T) = X_0 + V_0T$ L:1 |

Exemplo 3: Exemplo de atributo CASOS e UM-CASO-DE

O tipo de valor V apresenta no campo valor um número, um texto ou um "slot" vazio para ser preenchido durante a execução do sistema especialista.

O tipo de valor D apresenta no campo valor um número ou um texto que é considerado quando o campo valor estiver vazio para tipo de valor V. O valor "default" passa ser o valor corrente até que o "slot" do tipo de valor V seja preenchido.

O tipo de valor R apresenta no campo valor restrições para preenchimento do "slot" tipo V e D. Estas restrições representam condições. Essas condições são formadas por operadores como : == (igual), != (diferente), > (maior), < (menor), >= (maior ou igual), <= (menor ou igual), && (e), || (ou). O uso de operadores "E" ou "OU" deve ser exclusivo.

O tipo de valor P apresenta no campo valor nome do programa que deve ser executado. A cada programa podem estar associados parâmetros que correspondem aos atributos do "frame". Ao executar o programa, os valores dos atributos ou os próprios atributos são passados como argumentos para o programa.

As operações básicas de edição da base de fórmulas são:

- 1) Incluir;
- 2) Alterar;
- 3) Retirar;
- 4) Consultar.

Essas operações são relativas a cada fórmula, atributo e valor que se deseja manipular. Cada operação dessa será descrita a seguir.

V.3.3.2.1. Incluir uma fórmula

Consiste em criar um outro 'frame' para uma nova fórmula. O último código de referência disponível é associado à fórmula que se deseja inserir na base.

Nesta fase, solicita-se uma identificação para o objeto obrigatoriamente. Especifica-se a fórmula e uma descrição geral para ela. Verifica-se a existência dessa fórmula na base. O procedimento só continua se realmente for uma nova fórmula.

V.3.3.2.2. Alterar uma fórmula

Consiste em modificar a descrição geral da fórmula e seus atributos. As operações de incluir, alterar, retirar e consultar também estão disponíveis para os atributos.

Para alterar a fórmula, apresenta-se uma lista de fórmulas para selecionar uma delas.

Não é permitido modificar o objeto fórmula. Nesse caso, quando for necessário, deve-se retirar e incluir um novo.

V.3.3.2.3. Retirar uma fórmula

Consiste em eliminar uma fórmula da base.

Para retirar uma fórmula, apresenta-se uma lista de fórmulas para selecionar uma delas. Pede-se uma confirmação e alguns cuidados devem ser tomados para que essa operação não provoque inconsistências na base.

Após uma retirada de uma fórmula, deve-se rever todas as ligações ("link") que envolviam esta fórmula. Cria-se uma lista de fórmulas afetadas por este tipo de operação. Essa lista é apresentada ao usuário para que a corrija, pois todos o "links" que haviam deixam de existir. O usuário só terá acesso à base de fórmulas quando estiver executando o sistema, somente após atualização dessa lista, ou seja, depois de retirar todas as inconsistências.

Em especial, se a fórmula contém os atributos CASOS e/ou UM-CASO-DE, medidas mais drásticas são tomadas. Se nenhuma ligação a mais houver nos atributos CASOS e/ou UM-CASO-DE, estes atributos deixarão de existir, pois fundamentalmente estes tipos de atributo só aceitam tipos de valor L. Já outros atributos podem permanecer desde que eles sejam associados a algum valor.

V.3.3.2.4. Consultar uma fórmula

Consiste em exibir todas as informações relativas a fórmula solicitada.

Para consultar uma fórmula, apresenta-se uma lista de fórmulas para selecionar uma delas.

V.3.3.2.5. Incluir atributos

Consiste em inserir novos atributos para fórmula.

O nível e o nome de atributo são solicitados e verificado se já existem para uma fórmula específica.

Em seguida, especifica-se a lista de valores relativa ao atributo. As operações de incluir, alterar, retirar e consultar estão disponíveis para especificar valores.

Cada fórmula deve conter o atributo QUALITATIVOS obrigatoriamente. Se ele não for incluído, será solicitado.

Ao incluir o atributo CASDS, cada subatributo dele deve conter um atributo UM-CASO-DE fazendo referência a fórmula de que é um caso.

V.3.3.2.6. Alterar atributos

Consiste em modificar nome do atributo e seus valores. As operações de incluir, alterar, retirar e consultar estão disponíveis para especificar valores.

Não é permitido modificar um nível. Nesse caso, quando for necessário, deve-se retirar e incluir um novo.

V.3.3.2.7. Retirar atributos

Consiste em eliminar atributos de um 'frame' de fórmulas.

Para retirar atributos, apresenta-se uma lista de atributos possíveis de uma determinada fórmula para o usuário selecionar. Pede-se uma confirmação. Ao retirar um atributo, todos os seus subatributos também são eliminados.

Os cuidados relatados na retirada de uma fórmula são os mesmos para eliminar atributos. Para que não haja inconsistência, o usuário deve atualizar os valores comprometidos da lista de fórmulas.

V.3.3.2.8. Consultar atributos

Consiste em mostrar todas as informações relativas ao atributo, inclusive de seus subatributos.

Para consultar um atributo, apresenta-se uma lista dos atributos existentes para o usuário selecionar.

V.3.3.2.9. Incluir valores

Consiste em inserir valores para cada atributo. Somente um tipo de cada valor será permitido para cada atributo. Solicita-se o tipo de valor específico.

Incluir um tipo de valor Q requer que a lista de questões já formuladas seja apresentada ao usuário. Se a questão tratada já consta dessa lista, basta o usuário selecioná-la. Caso contrário, o usuário pode acrescentar uma nova questão.

Incluir um tipo de valor L requer que a lista de fórmulas seja apresentada para consulta. Se a fórmula desejada já existir, basta o usuário selecioná-la. Caso ainda não exista, deve-se criá-la para se obter o código de referência da fórmula.

Incluir um tipo de valor V consiste em especificar um valor numérico, ou um texto, ou deixar simplesmente o valor em branco. Este valor deve respeitar as limitações do tipo de valor R.

Incluir um tipo de valor D consiste em especificar um valor numérico ou texto, respeitando as limitações do tipo de valor R.

Incluir um tipo de valor R consiste em apresentar restrições para o tipo de valor V e D. Caso esses últimos tenham sido preenchidos antes do tipo de valor R e seus valores não respeitam as restrições, solicitam-se novos valores para V e D.

Incluir um tipo de valor P consiste em especificar o nome de um programa e seus parâmetros.

É importante ressaltar o tratamento quando se tem o atributo CASOS e UM-CASO-DE. Se houver uma inclusão de um tipo de valor L em um atributo CASOS, deve-se considerar:

1) Se a fórmula já existe

a) A fórmula já contém um atributo UM-CASO-DE

Deve-se incluir um subatributo especificando a fórmula derivada e a referência à fórmula primitiva.

b) A fórmula não contém um atributo UM-CASO-DE

Cria-se o atributo UM-CASO-DE e o subatributo especificando a fórmula derivada e a referência à fórmula primitiva;

2) Se a fórmula não existe

Cria-se a fórmula, um atributo UM-CASO-DE e o subatributo especificando a fórmula derivada e a referência à fórmula primitiva;

Não se inclui tipo de valor L em atributo UM-CASO-DE, pois ele é criado a partir da especificação do atributo CASOS.

V.3.3.2.10. Alterar valores

Consiste em modificar os valores do atributo. Basta especificar o tipo de valor que se deseja alterar. As observações mencionadas para inclusão de valores são válidas também neste tipo de operação.

V.3.3.2.11. Retirar valores

Consiste em eliminar valores de um atributo. Pelo menos um valor deve permanecer. Solicita-se o tipo de valor para este fim. Pede-se também uma confirmação.

Os valores tipo L dos atributos QUALITATIVOS, CASOS e UM-CASO-DE não podem ser retirados.

V.3.3.2.12. Consultar valores

Consiste em exibir os valores de um atributo. Pode-se consultar um tipo de valor específico ou todos os valores associados ao atributo.

V.3.4. Operação EXECUTAR

O modo de execução ocorre em fases distintas:

- 1) Trabalhar os aspectos qualitativos;
- 2) Obter um subconjunto da base de fórmulas;
- 3) Obter gráficos;
- 4) Reformular hipóteses;

A primeira etapa acontece no sistema EXSYS. O aluno terá que atingir os objetivos estabelecidos para base de conhecimento. Serão usadas regras para obtê-los. À medida que as hipóteses forem sendo criadas, os qualitativos principais são reconhecidos. Para estabelecer esses objetivos e qualitativos é usado o mecanismo de encadeamento regressivo.

A etapa seguinte consiste em apresentar ao aluno um subconjunto da base de fórmulas. Este subconjunto é formado a partir dos qualitativos descobertos na primeira interação do aluno com o sistema, no caso, com o EXSYS. Todas as fórmulas que contiverem no atributo QUALITATIVOS os conceitos identificados na primeira fase são acionadas. Uma vez determinadas, mostra-se ao usuário um subconjunto de fórmulas da base. Dentre as fórmulas apresentadas, o usuário pode solicitar a que gostaria de analisar.

Identificada uma fórmula, os atributos dela se tornam disponíveis para consulta. A seguir, tem-se um algoritmo básico para tratar procedimento de consulta a uma fórmula ativa na base:

Se houver atributo = "UM-CASO-DE"

 Criar um "frame" temporário que conterá conhecimento herdado dos "frames"-pai e atualizado com suas especializações.

Para cada nível de atributo:

 Criar uma janela com opções:

 Se atributo tiver tipo de valor Q

 Então mostrar questão associada

 Senão mostrar atributo;

 Selecionar uma opção;

 Analisar tipos de valores de atributos escolhidos:

 Se houver tipo L

 Então mostrar fórmula e descrição geral;

Se houver tipo V

Então Se valor # ' '

Então mostrar valor

Senão Se valor "default" definido

Então herdar valor "default",

mostrar valor,

perguntar se deseja modificar

valor,

Se quiser

Então receber valor respei-

tando restrição

Senão continuar com valor

"default" herdado

Senão informar que não há valor

associado,

perguntar se deseja modi-

ficar valor,

Se quiser

Então receber valor res-

peitando restrição

Senão continuar sem valor

associado

Senão Se valor "default" definido
Então herdar valor "default",
mostrar valor,
perguntar se deseja criar valor,
Se quiser
Então receber valor respeitando
restrição
Senão continuar com valor "default"
herdado
Senão informar que não há valor associado,
perguntar se deseja criar valor,
Se quiser
Então receber valor respeitando
restrição
Senão continuar sem valor associado
Se houver tipo D
Então mostrar valor "default";
Se houver tipo R
Então mostrar restrições aos valores;
Se houver tipo P
Então acionar programa tomando valores dos
atributos ou os próprios atributos como
argumentos.

Algoritmo 1: Algoritmo básico para tratar procedimento
de consulta a uma fórmula acionada

Os valores recebidos e preenchidos nos "slots" dos "frames" são temporários e relativos a cada consulta.

Ao fazer uma análise cuidadosa da fórmula através de seu conhecimento descritivo, o aluno tem condições de optar pela fórmula que melhor descreve o fenômeno pesquisado.

De posse de uma fórmula, o aluno pode pedir para construir os gráficos. Um será construído a partir de dados experimentais. O outro será construído através de técnicas computacionais a partir da fórmula escolhida.

O aluno ao analisar os gráficos pode reformular suas hipóteses até obter uma descrição melhor possível para a experiência realizada.

V.3.5. Operação LISTAR

O sistema pode listar relatório de:

- 1) Objetivos;
- 2) Fatos;
- 3) Regras;
- 4) Hipóteses;
- 5) Fórmulas.

V.3.6. Operação SAIR

Esta operação finaliza a interação entre o sistema e o usuário.

CAPITULO VI

VI. Diretrizes para desenvolvimento e consulta de sistemas especialistas usando a ferramenta implementada

As diretrizes para desenvolvimento e consulta de sistemas especialistas são instrumentos para guiar os usuários na execução de suas atividades.

Procura-se, neste capítulo, delinear algumas diretrizes relacionadas com as características específicas da ferramenta proposta e implementada. Essas diretrizes são fruto das diversas sessões realizadas com o especialista durante o processo de aquisição do conhecimento. Pode-se dividir essas diretrizes em dois grandes grupos: diretrizes para desenvolvimento e diretrizes para consulta. A seguir, descreve-se cada uma.

VI.1. Diretrizes para desenvolvimento

As diretrizes para desenvolvimento constituem guias para construção de sistemas especialistas. No projeto, elas são direcionadas para os professores, pois construir um sistema especialista é uma de suas tarefas.

Basicamente, as diretrizes para desenvolvimento de sistemas especialistas para Física Experimental compreendem:

- 1) Escolher um tópico para ser tratado;
- 2) Determinar os objetivos finais, ou seja especificar aonde se pretende chegar;
- 3) Analisar aspectos qualitativos e quantitativos do conhecimento;
- 4) Elaborar pacotes numéricos;
- 5) Realizar manutenção, adicionando, retirando ou alterando conhecimento da base.

A análise de aspectos qualitativos e quantitativos do conhecimento se deve ao fato do conhecimento da Física ser composto por naturezas distintas. A seguir, descrevem-se as diretrizes para analisar o conhecimento da Física considerando esse dois aspectos.

VI.1.1. Análise de aspectos qualitativos do conhecimento

Nesta análise, estão envolvidos principalmente os conceitos relacionados com o tópico escolhido. As principais etapas para formalizar esses conceitos são:

- 1) Identificar conceitos principais que estão associados aos objetivos finais;
- 2) Determinar os conceitos prévios que se deve possuir;
- 3) Formular perguntas/respostas que levem aos objetivos finais ou a justificações;
- 4) Identificar fatos, especificando sempre que possível objeto, atributo, valor;
- 5) Transcrever perguntas/respostas em regras na forma SE-ENTÃO-SENÃO usando os fatos identificados;
- 6) Determinar os conceitos principais do sistema;
- 7) Usar a ferramenta EXSYS para editar objetivos, fatos, regras e conceitos principais.

VI.1.2. Análise de aspectos quantitativos do conhecimento

Nesta análise, busca-se descrever qualitativamente as fórmulas usadas no sistema através do formalismo tipo "frames". As principais etapas são:

1) Determinar fórmulas gerais que estão associadas aos objetivos finais e aos conceitos principais;

Para cada fórmula:

2) Elaborar uma descrição geral;

3) Especificar os componentes, associando-os aos conceitos principais;

4) Especificar os casos derivados;

5) Especificar parâmetros com possíveis valores "default" e restrições;

6) Determinar as relações entre os conceitos;

7) Especificar os pacotes numéricos;

8) Descrever tipo de gráfico gerado;

9) Especificar hipertexto associado;

10) Editar esse conhecimento na estrutura de dados "frames" proposta pela ferramenta.

VI.2. Diretrizes para consulta

As diretrizes para consulta constituem guias para obter informações do sistema especialista de forma adequada. Estas diretrizes são propostas baseadas nas estratégias de ensino/aprendizagem de Física Experimental. No projeto, elas são direcionadas para os alunos.

Basicamente, as diretrizes para consulta de sistemas especialistas para Física Experimental compreendem:

- 1) Escolher um sistema;
- 2) Formular as hipóteses conceituais através da base de regras;
- 3) Escolher dentre as fórmulas acionadas pelas hipóteses conceituais formuladas aquela que será analisada;
- 4) Comparar solução gráfica gerada pela fórmula com a dos dados experimentais;
- 5) Reformular as hipóteses, caso seja necessário, até obter um modelo descritivo, quantitativo e gráfico que satisfaça.

CAPÍTULO VII

VII. Validação da ferramenta proposta

A validação da ferramenta constitui um dos últimos estágios no processo de desenvolvimento de sistemas especialistas.

Para concretizar este estágio, desenvolveu-se um sistema especialista para Física Experimental. Porém, uma avaliação completa do sistema não foi realizada, pois a pesquisa se limitou a construção de uma ferramenta e de um sistema apropriados para Física.

VII.1. Participantes

Participaram neste projeto:

- 1) Um engenheiro do conhecimento;
- 2) Um especialista.

O engenheiro do conhecimento foi responsável, principalmente, pela realização do processo de aquisição do conhecimento, construção de uma ferramenta para construção de sistemas especialistas para Física e desenvolvimento de um sistema.

O especialista, professor de Física, bastante ativo e criador durante toda a pesquisa, é a pessoa que possui o conhecimento da área de Física Experimental.

Os alunos não chegaram a participar do processo de validação da ferramenta.

VII.2. Desenvolvimento de um sistema especialista

O desenvolvimento de um sistema especialista para Física Experimental se tornou um tanto quanto difícil em virtude dos aspectos qualitativos e quantitativos do conhecimento, dificuldades já discutidas anteriormente.

A construção do sistema ocorreu obedecendo as diretrizes já traçadas no capítulo VI.

O tópico escolhido para ser tratado foi o estudo de MOVIMENTO na Cinemática. A Cinemática é a parte da Mecânica que descreve os movimentos independentemente de suas causas. A dificuldade em tratar assuntos da área de Física conduziu os dois participantes a abordarem este tópico. Achou-se que era relativamente fácil, idéia revista logo em seguida quando surgiram os primeiros problemas.

Determinado o tópico, especificaram-se os objetivos finais. Esses objetivos compreendem a classificação dos principais movimentos, constituindo a base de objetivos do sistema. Veja apêndice I.

Os itens elaborar pacotes numéricos e realizar manutenção não constam dessa validação. Passa-se, então, para análise dos aspectos qualitativos e quantitativos.

VII.2.1. Análise dos aspectos qualitativos do conhecimento

A primeira etapa consiste em identificar os conceitos principais associados aos objetivos finais. Analisando cada objetivo, chegou-se a conclusão com o especialista que os principais conceitos relacionados aos objetivos podem ser vistos na tabela 1:

<u>Objetivos</u>	<u>Conceitos relacionados</u>
1. Repouso na posição inicial	posição e tempo
2. Movimento uniforme com sentido positivo	posição, velocidade e tempo
3. Movimento uniforme com sentido negativo	posição, velocidade e tempo
4. Movimento uniformemente acelerado com sentido positivo	posição, velocidade, aceleração e tempo
5. Movimento uniformemente retardado com sentido negativo	posição, velocidade, aceleração e tempo
6. Movimento uniformemente retardado com sentido positivo	posição, velocidade, aceleração e tempo
7. Movimento uniformemente acelerado com sentido negativo	posição, velocidade, aceleração e tempo

Tabela 1: Objetivos e conceitos relacionados

Esses conceitos, somente, não são suficientes para descrever um movimento. Em uma segunda etapa, é interessante determinar os conceitos prévios necessários para o sistema. Esses conceitos podem inclusive ser explorados através do sistema hipertexto do LABOR. Conceitos como ponto, reta, semi-reta, massa, instante, partícula, referencial, sistema de coordenadas, direção do movimento, sentido positivo, sentido negativo, são importantes para melhor entender o sistema especialista.

A etapa de formular perguntas/respostas que levem aos objetivos finais ou a justificacão é bastante importante. À princípio parece ser fácil, mas tornou-se complicado por se tratar da área de Física. O especialista teve muitas dificuldades em estruturar o conhecimento por motivos já conhecidos. Inúmeras tentativas foram feitas. No apêndice II, transcreve-se, integralmente, o conhecimento do especialista relativo ao estudo de movimentos. Esse texto foi produzido durante uma das inúmeras sessões ocorridas.

Baseado na relação de perguntas/respostas formuladas, pode-se identificar os fatos relacionados. No apêndice III, tem-se a base de fatos do sistema. Os fatos são, sempre que possível, especificados na forma de ATRIBUTO-OBJETO-VALOR.

Após relacionar os fatos, transcrevem-se perguntas/respostas formuladas pelo especialista em algum tipo de formalismo. As regras são muito difundidas e foi a representação do conhecimento escolhida para esta finalidade. No apêndice IV, apresenta-se a base de regras usada neste sistema.

No apêndice IV, encontram-se também os qualitativos, ou seja, os conceitos principais acionados. Na variável [QUALITATIVOS1], têm-se posição e tempo. Na variável [QUALITATIVOS2], têm-se posição, velocidade e tempo. Na variável [QUALITATIVOS3], têm-se posição, velocidade, aceleração e tempo.

A ferramenta EXSYS foi utilizada para editar os objetivos, fatos, regras e os qualitativos.

VII.2.2. Análise dos aspectos quantitativos do conhecimento

A primeira etapa consiste em determinar as fórmulas gerais. As três principais fórmulas relacionadas ao estudo desses movimentos são:

$$1) X(T) = X_0 + V_0 T + 1/2 A_0 T^2;$$

$$2) V(T) = V_0 + A_0 T;$$

$$3) A(T) = A_0;$$

onde os conceitos posição, velocidade e aceleração são definidos em função do tempo.

Para descrever essas fórmulas, optou-se pela representação em "frames". No apêndice V, tem-se a base de fórmulas descrita na forma de "frames".

Seguindo as diretrizes, para cada fórmula, deve-se descrever suas características. A seguir, é apresentado um exemplo para fórmula $X(T) = X_0 + V_0 T + 1/2 A_0 T^2$.

Para a fórmula em questão deve ser apresentada uma descrição geral. Veja apêndice V. Em seguida os seus atributos podem ser especificados.

Um dos atributos se refere aos conceitos principais relacionados com a fórmula. Esses conceitos compreendem os componentes da fórmula. No caso específico da fórmula $X(T)$, tem-se os conceitos:

$$1) \text{ Posição} : \Delta X = X - X_0;$$

$$2) \text{ Velocidade} : V = \Delta S / \Delta T;$$

$$3) \text{ Aceleração} : A = \Delta V / \Delta T;$$

$$4) \text{ Tempo} : \Delta T = T - T_0.$$

Uma outra característica da fórmula são os seus casos.

A fórmula $X(T)$ apresenta dois casos :

1) $X(T) = X_0;$

2) $X(T) = X_0 + V_0T.$

Os parâmetros usados nessa fórmula são: X_0 , V_0 , A_0 , correspondendo à posição inicial, velocidade inicial e aceleração inicial respectivamente. O valor "default" usado para todos é 1 (um). Cada um possui como restrição serem diferentes de 0 (zero).

As relações entre conceitos possibilitam verificar o comportamento de um atributo em relação a outro. A relação principal dessa fórmula é a posição x tempo. Pode-se associar a cada relação um pacote numérico e um programa gerador de gráficos. Neste trabalho, isto não foi realizado. Mas é possível especificar o tipo de gráfico, onde neste caso é uma parábola.

Caso seja necessário alguma informação adicional sobre a fórmula, o sistema de hipertexto pode apresentar.

Todo esse conhecimento é editado através da ferramenta proposta com um editor apropriado para inserir, modificar, retirar e consultar objetos, atributos e valores de "frames".

CAPÍTULO VIII

VIII. Conclusões

VIII.1. Resultados da ferramenta apresentada

A ferramenta é uma proposta alternativa para o uso do computador na Escola. Em particular, ela foi desenvolvida para área de Física, mas alguns princípios podem ser aproveitados em outros domínios.

A principal característica da ferramenta é possuir uma base de fórmulas representada por "frames". Através dos "slots" dos "frames", pode-se descrever qualitativamente as fórmulas. Consegue-se resolver, parcialmente, as dificuldades de representar certos tipos de expressões matemáticas em formalismos como os de regra bastante difundidos em sistemas baseados em conhecimento.

Dois princípios organizacionais foram utilizados para estruturar a base de fórmulas: a agregação e a generalização. Ao possibilitar um relacionamento entre o objeto e seus componentes, a agregação tornou aspectos educacionais da estrutura da física mais claros. Já a generalização permitiu a formulação de casos derivados a partir de uma fórmula primitiva.

O processo de aquisição foi um estágio muito importante tanto para o engenheiro do conhecimento como para o especialista. Através dele, constatou-se a dificuldade que um especialista tem em estruturar seu conhecimento. Em particular a área de Física, por apresentar conhecimento de naturezas distintas: qualitativa e quantitativa.

A ferramenta é um instrumento que possibilitará alunos e professores organizarem e registrarem melhor seus conhecimentos.

VIII.2. Limitações deste trabalho

A área de Física por ser bastante complexa e utilizar muito conhecimento do senso comum se torna difícil de ser tratada.

Por envolver vários aspectos de sistemas especialistas, este trabalho se limitou, principalmente, em abordar dois tópicos: o processo de aquisição e a representação do conhecimento.

VIII.3. Sugestões

O emprego de outras técnicas de inteligência artificial tornariam a ferramenta mais potente, como por exemplo um processador de linguagem natural. Ferramentas passivas de aprendizagem requerem formas de explicação e justificação de uma maneira clara e informativa.

É muito importante que as ferramentas para o ensino/aprendizagem sejam também avaliadas por educadores. Além disso, os currículos escolares devem ser ajustados para que possa haver um uso eficaz dessas ferramentas.

CAPÍTULO IX

IX. Referências bibliográficas

- [1] ABREU FILHO, H. & BARROS, L., "Aplicação de Sistemas Especialistas na Educação", II Jornada de Atualização do Grupo de Inteligência Artificial da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1989.
- [2] BARR, A. & FEIGENBAUM, E. A., The Handbook of Artificial Intelligence, Stanford, California, Heuristech Press, vol I, 1981.
- [3] _____, The Handbook of Artificial Intelligence, Stanford, California, Heuristech Press, vol II, 1982.
- [4] BARROS, L. et alii, "LABOR - Ambiente Integrado de Ferramentas de software para laboratório de Ciências", IX Congresso da SBC, Uberlândia, 1989.
- [5] BARSTOW, D. R. et alii, "Language and Tools for Knowledge Engineering", In : HAYES-ROTH et alii, Building Expert Systems, Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1983.
- [6] BRACHMAN, R. J. & SCHMOLZE, J. G., "An Overview of the KL-ONE Knowledge Representation System", Cognitive Science, 9: 171-216, 1985.

- [7] BUCHANAN, B. G. et alii, "An Overview of Expert Systems", In : HAYES-ROTH, F.; WATERMAN, D. A.; LENAT, D. B., *Building Expert Systems*, Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1983.
- [8] CARNOTA, R. J. & TESZKIEWISZ, A. D., *Sistemas Expertos y Representation del Conocimiento*, Edição EBAI, 1988.
- [9] CARRICO, M. A.; GIRARD, J. E.; JONES, J. P., *Building knowledge Systems: Developing and Managing Rule-Based Applications*, New York, Intertext Publications, McGraw-Hill Book Company, 1989.
- [10] CLANCEY, W. J., *Knowledge-Based Tutoring: The GUIDON Program*, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 1987.
- [11] COBURN, P. et alii, *Informática na Educação*, [Practical Guide to Computers in Education] Trad.: RIVA ROITMAN & GILDA HELENA B. DE CAMPOS, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, Editora Ltda, 1988.
- [12] ELIA, M. F. & BARROS, S. S., *Manual de Física Experimental I*, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- E13] EXSYS, Inc., "EXSYS - Software de Desenvolvimento de Sistemas Especialistas", Rio de Janeiro, Brasil, Base Tecnologia Ltda, 1986.
- E14] HARDT, S. L., "Physics, Common Sense, and Artificial Intelligence", *Computer*, in *Physics*, p. 91 - 92, nov/dec. de 1987.
- E15] HARMON, P. & KING, D., *Expert System Artificial Intelligence in Business*, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1985.
- E16] HAYES-ROTH, F.; WATERMAN, D. A.; LENAT, D. B., "An Overview of Expert Systems", In: _____, *Building Expert Systems*, Reading, Massachussets, Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 1983.
- E17] HSU, C. Y., *Representação do Conhecimento usando Regras e "Frames"*, Tese de Mestrado, Rio de Janeiro, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Agosto de 1988.
- E18] HOFMEISTER, A. M., "Formative evaluation in the development and validation of expert systems in education", *Compute. Intell*, 2: 65-67, 1986.
- E19] JACKSON, P., *Introduction to Expert Systems*, England, Addison-Wesley Publishing Company, 1986.

- [20] KERNIGHAN, B. W. & RITCHIE, D. M., *The C Programming Language*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1978.
- [21] KIDD, A. L., "Knowledge Acquisition - an Introductory Framework", In: _____, *Knowledge Acquisition for Expert System-A practical handbook*, New York, Plenum Press, 1987.
- [22] _____, *Knowledge Acquisition for Expert Systems: A practical handbook*, New York, Plenum Press, 1987.
- [23] KLAHR, P. & WATERMAN, D. A., *Expert System : Techniques, Tools and Applications*, Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, 1986.
- [24] LORENZONI, E. J. F., *Ferramenta para desenvolvimento de sistemas especialistas*, Tese de Mestrado, Rio de Janeiro, Instituto Militar de Engenharia, 1987.
- [25] MINSKY, N., "A Framework for Representing Knowledge", In: Winston, P., *The Psychology of Computer-Vision*, New York, McGraw-Hill, 1985.
- [26] MYLOPOULOS, J. & LEVESQUE, H., "An overview of knowledge representation", In: BRODIE, M.L. et alii, *On Conceptual Modelling*, Berlin, Springer-Verlag, 1984.

- [27] OLIVEIRA, U. S. C., *Um Sistema Tutorial Inteligente*, Tese de Mestrado, Rio de Janeiro, Instituto Militar de Engenharia, 1988.
- [28] SLEEMAN, D. & BROWN, J. S., *Intelligent Tutoring Systems*, London, Academic Press, INC., 1982.
- [29] VALLEY, K., "Designing an Expert System Shell for use in Education", DAI Research paper nº. 385, University of Edinburgh, 1988.
- [30] WATERMAN, D. A., *A Guide to Expert System*, Addison-Wesley Publishing Company Reading, Massachusetts, 1986.
- [31] WINOGRAD, T., "Frame representations and the Declarative/Procedural Controversy", In: BOBROW, D. G. & COLLINS, A., *Representation and Understanding: Studies in Cognitive Science*, Orlando, Academic Press, Inc., 1975.
- [32] WINSTON, P. H. & PRENDERGAIT, K. A., *The Intelligence Business - The commercial uses of Artificial Intelligence*, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 1985.

Apêndice I

Base de objetivos

Repouso na posição inicial

Movimento uniforme com sentido positivo

Movimento uniforme com sentido negativo

Movimento uniformemente acelerado com sentido positivo

Movimento uniformemente retardado com sentido negativo

Movimento uniformemente retardado com sentido positivo

Movimento uniformemente acelerado com sentido negativo

Apêndice II

Conhecimento do especialista relativo
ao estudo de movimentos

Obs: Todas as respostas são dependentes do refinamento adotado! Se o refinamento for o refinamento limite todas as grandezas são expressas pelos valores "instantâneos" senão os valores são médios.

1) Há dois instantes, do intervalo global de observação, entre os quais houve variação de posição?

Resp: Sim ou Não

Caso Não : repouso na posição inicial.

(Caso Sim : Identifique o(s) par(es) de instante(s))

2) (Caso Sim) e (há mais de um par) As variações de posição são iguais?

Resp: Sim ou Não

Caso Sim : 2') As variações são positivas?

Resp: Sim ou Não

Caso Sim : Movimento uniforme: sentido positivo.

Caso Não : Movimento uniforme: sentido negativo.

3) (Caso Não): Houve variação de velocidade no(s) intervalo(s) considerado(s)?

Resp: Sim ou Não

Caso Não: Movimento uniforme (cf. Resp 2')

4) (Caso3Sim) As variações de velocidade são iguais?
(nos mesmos intervalos considerados)

Resp: Sim ou Não

Caso Sim : 4') As variações são positivas?

(Aceleração positiva)

Caso Sim: Se o sinal da velocidade nos instantes considerados é positiva
Então Movimento uniformemente acelerado com sentido positivo

Senão Movimento uniformemente retardado com sentido negativo

(Aceleração negativa)

Caso Não: Se o sinal da velocidade nos instantes considerados é positiva
Então Movimento uniformemente retardado com sentido positivo

Senão Movimento uniformemente acelerado com sentido negativo.

(Analisar sub-trechos)

Caso Não: -----) ? (A critério do professor, incluir por exemplo movimento periódico (MHS); movimento com velocidade limite!)

Apêndice III

Base de fatos

- 1) A variação de posição entre dois instantes escolhidos
 - a) ocorre
 - b) não ocorre
- 2) As variações de posição nos intervalos intermediários são
 - a) iguais
 - b) diferentes
- 3) O valor das variações de posição é
 - a) positivo
 - b) negativo
- 4) A variação de velocidade no intervalo considerado
 - a) ocorre
 - b) não ocorre
- 5) As variações de velocidade são
 - a) iguais
 - b) diferentes
- 6) O valor das variações de velocidade é
 - a) positivo
 - b) negativo
- 7) O sinal da velocidade nos instantes considerados é
 - a) positivo
 - b) negativo

Apêndice IV

Base de regras

1. SE a variação de posição entre dois instantes escolhidos não ocorre
ENTÃO repouso na posição inicial E
[QUALITATIVOS1]
2. SE a variação de posição entre dois instantes escolhidos ocorre E
as variações de posição nos intervalos intermediários são iguais
ENTÃO movimento uniforme
3. SE movimento uniforme E
o valor das variáveis de posição é positivo
ENTÃO movimento uniforme com sentido positivo E
[QUALITATIVOS2]
4. SE movimento uniforme E
o valor das variações de posição é negativo
ENTÃO movimento uniforme com sentido negativo E
[QUALITATIVOS2]
5. SE as variações de posição nos intervalos intermediários são diferentes E
a variação de velocidade no intervalo considerado não ocorre
ENTÃO movimento uniforme

6. SE a variação de velocidade no intervalo considerado ocorre E

as variações de velocidade são iguais

ENTÃO movimento com aceleração constante

7. SE movimento com aceleração constante E

o valor das variações de velocidade é positivo

ENTÃO movimento com aceleração constante positiva

8. SE movimento com aceleração constante E

o valor das variações de velocidade é negativo

ENTÃO movimento com aceleração constante negativa

9. SE movimento com aceleração constante positiva E

o sinal da velocidade nos instantes considerados é positivo

ENTÃO movimento uniformemente acelerado com sentido positivo E

[QUALITATIVOS3]

10. SE movimento com aceleração constante positiva E

o sinal da velocidade nos instantes considerados é negativo

ENTÃO movimento uniformemente retardado com sentido negativo E

[QUALITATIVOS3]

11. SE movimento com aceleração constante negativa E

o sinal da velocidade nos instantes considerados é positivo

ENTÃO movimento uniformemente retardado com sentido positivo E

[QUALITATIVOS3]

12. SE movimento com aceleração constante negativa E
o sinal da velocidade nos instantes considerados
é negativo

ENTÃO movimento uniformemente acelerado com sentido
negativo E

[QUALITATIVOS3]

Apêndice V

Base de fórmulas

1. $X(T) = X_0 + V_0T + 1/2 A_0T^2$

Descrição : determina a posição de uma partícula ao longo de uma reta, batizada de eixo X (com a escolha de um sentido positivo), no intervalo de tempo de observação, conhecidas a posição e a velocidade no instante inicial do intervalo e a aceleração (constante) ao longo de todo o movimento.

1.1. Qualitativos	Q: 1		
1.1.1. Posição	L: 2		
1.1.2. Velocidade	L: 3		
1.1.3. Aceleração	L: 4		
1.1.4. Tempo	L: 5		
1.2. Casos	Q: 2		
1.2.1. $X(T) = X_0$	L: 6		
1.2.2. $X(T) = X_0 + V_0T$	L: 7		
1.3. Parâmetros	Q: 3		
1.3.1. X_0	V: 1	D: 1	R: !=0
1.3.2. V_0	V: 1	D: 1	R: !=0
1.3.3. A_0	V: 1	D: 1	R: !=0

- 1.4. Relações Q: 4
- 1.4.1. Posição-tempo V: Relação posição X tempo
- 1.4.1.1. Pacote-numérico Q: 5 P: PN1 (X_0, V_0, A_0)
- 1.4.1.2. Gráfico Q: 6 V: Gráfico quadrático
P: G1 (X_0, V_0, A_0)
- 1.5. Hipertexto Q: 7 P: HT

2. $\Delta X = X - X_0$

Descrição : Variação de espaço

- 2.1. Qualitativos Q: 1
- 2.1.1. Posição V: Conceito primitivo
- 2.2. Unidade-métrica Q: 8 V: D:m R: Km ou m
- 2.3. Hipertexto Q: 7 P: HT

3. $V = \Delta S / \Delta T$

Descrição : Variação da posição no tempo

- 3.1. Qualitativos Q: 1
- 3.1.1. Posição L: 2
- 3.1.2. Tempo L: 5
- 3.2. Unidade-métrica Q: 8 V: D: m/s R: Km/h ou m/s
- 3.3. Hipertexto Q: 7 P: HT

$$4. A = \Delta V / \Delta T$$

Descrição : Variação da velocidade no tempo

4.1. Qualitativos Q: 1

4.1.1. Velocidade L: 3

4.1.2. Tempo L: 5

4.2. Unidade-métrica Q: 8 V: D: m/s² R: Km/h² ou
m/s²

4.3. Hipertexto Q: 7 P: HT

$$5. \Delta T = T - T_0$$

Descrição : Variação de tempo

5.1. Qualitativos Q: 1

5.1.1. Tempo V: Conceito primitivo

5.2. Unidade-métrica Q: 8 V: D: s R: h ou s

5.3. Hipertexto Q: 7 P: HT

6. $X(T) = X_0$

Descrição : Descrição de um repouso na posição inicial

6.1. Qualitativos Q: 1

6.1.1. Posição L: 2

6.2. UM-CASO-DE Q: 9

6.2.1. $X(T) = X_0 + V_0 T$ L: 7

6.2.2. $X(T) = X_0 + V_0 T + 1/2 A_0 T^2$ L: 1

6.3. Parâmetros Q: 3

6.3.1. X_0 V:

6.3.2. V_0 V: 0 R: =0

6.3.3. A_0 V: 0 R: =0

6.4. Gráfico Q: 6 V: Gráfico linear horizontal

6.5. Hipertexto Q: 7 P: HT

7. $X(T) = X_0 + V_0T$

Descrição : Descrição da posição em um movimento uniforme

7.1. Qualitativos Q: 1

7.1.1. Posição L: 2

7.1.2. Velocidade L: 3

7.1.3. Tempo L: 5

7.2. UM-CASO-DE Q: 9

7.2.1. $X(T) = X_0 + V_0T + 1/2 A_0T^2$ L: 1

7.3. CASOS Q: 2

7.3.1. $X(T) = X_0$ L: 6

7.4. Parâmetros Q: 3

7.4.1. X_0 V:

7.4.2. V_0 V:

7.4.3. A_0 V: 0 R: = 0

7.5. Gráfico Q: 6

V: Gráfico linear, coeficiente angular V_0

7.6. Hipertexto Q: 7 P: HT

$$8. \quad V(T) = V_0 + A_0 T$$

Descrição : Determinação da velocidade (instantânea) no intervalo de observação, conhecidas a velocidade inicial e aceleração (constante) ao longo do movimento.

8.1. Qualitativos Q: 1

8.1.1. Velocidade L: 3

8.1.2. Aceleração L: 4

8.1.3. Tempo L: 5

8.2. CASOS Q: 2

8.2.1. $V(T) = V_0$ L: 9

8.3. Parâmetros Q: 3

8.3.1. V_0 V: D: 1 R: $I=0$

8.3.2. A_0 V: D: 1 R: $I=0$

8.4. Relações Q: 4

8.4.1. Velocidade-Tempo V: Relação velocidade X tempo

8.4.1.1. Pacote numérico Q: 5 P: PN2 (V_0, A_0)

8.4.1.2. Gráfico Q: 6

V: Gráfico linear coeficiente angular A_0

P: G2 (V_0, A_0)

8.5. Hipertexto Q: 7 P: HT

9. $V(T) = V_0$

Descrição : Descrição da velocidade em um movimento
uniforme com a velocidade inicial

9.1. Qualitativos Q: 1

9.1.1. Velocidade L: 3

9.1.2. Tempo L: 5

9.2. UM-CASO-DE Q: 9

9.2.1. $V(T) = V_0 + A_0T$ L: 8

9.3. Parâmetros Q: 3

9.3.1. V_0 V:

9.3.2. A_0 V: 0 R: =0

9.4. Gráfico Q: 6

V: Gráfico linear horizontal

9.5. Hipertexto Q: 7 P: HT

10. $A(T) = A_0$

Descrição : Determinação da aceleração no intervalo de observação.

10.1. Qualitativos Q: 1

10.1.1. Aceleração L: 4

10.1.2. Tempo L: 5

10.2. Parâmetros Q: 3

10.2.1. A_0 V: D: 1 R: $\neq 0$

10.3. Relações Q: 4

10.3.1. Aceleração-Tempo V: Relação aceleração X tempo

10.3.1.1. Pacote numérico Q: 5 P: PN3 (A_0)

10.3.1.2. Gráfico Q: 6

V: Gráfico linear horizontal P: G3 (A_0)

10.4. Hipertexto Q: 7 P: HT

Apêndice VI

Relação das questões

1. Componentes da fórmula
2. Casos possíveis para a fórmula
3. Valores dos parâmetros
4. Relações entre conceitos
5. Pacote numérico
6. Visualizar gráfico
7. Informação adicional
8. Unidade métrica
9. Fórmula primitiva