

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
Área de Engenharia de Produção

**CONCEITOS E DESENVOLVIMENTO
DE SISTEMAS ESPECIALISTAS**

PROF. DR. RENATO VAIRO BELHOT

SÃO CARLOS, 1993
PUBLICAÇÃO 075/95
REIMPRESSÃO

SUMÁRIO

	PÁG.
1. ASPECTOS BÁSICOS DE SISTEMAS ESPECIALISTAS	1
1.1. Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas	1
1.2. Conceitos e Funções dos Sistemas Especialistas	8
1.2.1. Conceituação	8
1.2.2. A que Tipos de Problemas se Aplica um Sistema Especialista	11
1.2.3. Quando Desenvolver um Sistema Especialista	15
2. ESTRUTURA DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS	20
2.1. Base de Conhecimento	21
2.1.1. Aquisição do Conhecimento	22
2.1.2. Representação do Conhecimento	24
2.2. Máquina de Inferência	30
2.3. Interface com o Usuário	36
2.4. Linguagens e Integração com outros Softwares	38
3. DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS	40
3.1. Considerações sobre as Ferramentas de Desenvolvimento	43
3.2. Quando Usar e Como Selecionar um Shell	47
3.3. Considerações Gerais sobre Validação	52
4. UM QUADRO DE REFERÊNCIA SOBRE SISTEMAS ESPECIALISTAS	54
4.1. Aplicações de Sistemas Especialistas	54
4.1.1. Interação com a Área de Engenharia de Produção	54
4.1.2. Perspectivas da Aplicação de S.E.'s na Engenharia de Produção	64
4.2. Softwares para o Desenvolvimento de Sistemas Especialistas - SHELLS	69
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

CODIGO	- 03079-5	I
PAGINAS	- 0045	I
TRANSACAO	- IN EX DO DE	I
DATA	- / /	1

1. ASPECTOS BÁSICOS DE SISTEMAS ESPECIALISTAS

1.1. Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas

O termo Inteligência Artificial (I.A.) vem ganhando difusão em quase todos os campos do conhecimento, e os sistemas de I.A. têm surgido como uma alternativa para a solução de problemas difíceis e mal-estruturados, através de progressos em software e hardware.

Se a inteligência for entendida como a habilidade de se compreender situações novas, e se esta capacidade estiver presente em um computador via algum esquema de programação, então o computador poderia ser adjetivado como inteligente, mas sem dúvida como uma inteligência artificial. Dentro deste raciocínio, a I.A. procura imitar o processo básico de aprendizado humano, absorvendo novas informações e tornando-as disponíveis para referências futuras. A mente humana pode incorporar novas informações e fatos sem modificar seu funcionamento e sem afetar outros conhecimentos que já possua. Um programa de I.A. opera de uma forma similar.

Esse campo de pesquisas é relativamente novo e bastante complexo. As suas fronteiras ainda não estão bem delineadas e o seu entendimento ainda não é único, o que dá margem a várias definições sobre o tema. RICH [1] propõe como definição para Inteligência Artificial: "o estudo de como fazer os computadores realizarem tarefas em que, no momento, as pessoas são melhores"; para LEVINE et alii [2]: "I.A. é simplesmente uma forma de fazer o computador pensar inteligentemente"; no artigo de HENDRY [3], ela é definida como: "a que pode coletar, montar, selecionar, entender, perceber e conhecer".

Outras definições poderiam ser citadas, mas como a área ainda não está bem delimitada, não há uma definição universalmente aceita, ou que permaneça válida face a rápida evolução da ciência do conhecimento e da informática.

No entanto, as definições apresentadas, e outras que possam ser aventadas, estruturam-se em torno da compreensão dos processos humanos de aprendizagem e da aplicação do conhecimento, visando à modelagem desses processos através de programas para computador. Em outras palavras, do desenvolvimento de programas de computadores capazes de desempenhar tarefas e resolver problemas de uma maneira que seria considerada inteligente, se feita por um ser humano.

Atualmente, as pesquisas conduzidas na área de Inteligência Artificial podem ser englobadas em quatro campos primários: processamento de linguagem natural, visão e robótica, redes neurais e sistemas especialistas. Contudo, o ponto de convergência das pesquisas em I.A. vem sofrendo alterações durante as últimas décadas.

Na década de 50 foram estabelecidos os fundamentos da I.A., que incluíam a lógica matemática e a teoria das funções recursivas. Os problemas abordados referiam-se a jogos de xadrez e a prova de teoremas na matemática e lógica. Em 1955, o "Logic Theorist" provou teoremas. A pesquisa produziu então, a linguagem de processamento de informações (LPI) e deu os primeiros passos em direção a uma linguagem de processamento de listas. Um marco fundamental foi o desenvolvimento da linguagem LISP, que fornece um interpretador para desenvolver expressões simbólicas recursivas. Nesta mesma década, os psicólogos que estudavam o processo de raciocínio humano (processo cognitivo) passaram a preocupar-se com a investigação desse raciocínio e com o processo de tomada de decisão, em termos de regras e fatos condicionais.

Nos anos 60, a ênfase dos pesquisadores era simular o complexo processo de pensamento, na tentativa de desenvolver métodos gerais, que poderiam ser igualmente bem aplicados a diferentes problemas, em diferentes áreas. Um exemplo significativo é o General Problem Solver, utilizado para resolver problemas matemáticos baseado no princípio da redução do problema (decomposição do problema). Contudo, tal subdivisão recursiva dos problemas tende a resultar em uma explosão combinatorial. Apesar de alguns progressos interessantes, esta ênfase não proliferou, devido às enormes dificuldades encontradas.

Os pesquisadores de I.A. começaram, então, a pensar em outro modo de construir programas inteligentes. Pressionados pela dificuldade em desenvolver programas de propósito geral e pela necessidade de produzir sistemas inteligentes para aplicações práticas, eles passaram a se concentrar no desenvolvimento de métodos e técnicas gerais para serem usados em problemas especializados. Muita atenção foi dedicada as regras heurísticas, à semelhança do processo humano de tomada de decisão, que raramente considera todas as soluções possíveis para um problema, mas concentra-se em poucas que considera mais prováveis.

Assim, durante os anos 70 os cientistas de I.A. enfatizaram as técnicas de representação e de busca, isto é, como formular o problema de forma a resolvê-lo mais facilmente e como controlar a busca de modo a torná-la eficiente, respeitando a limitação de capacidade do computador. Novamente, esta iniciativa não produziu os resultados esperados. A descoberta mais importante aconteceu no final da década, quando eles perceberam que a capacidade de um programa depende muito mais do conhecimento que ele possui, que dos formalismos ou esquemas de inferência que ele emprega.

Desta forma, a nova estratégia enfatizava a investigação do papel do conhecimento na solução de problemas reais (práticos). Qualquer que fosse o conhecimento a ser analisado, era evidente que não poderia ser de senso comum (domínio geral), porque se reconhecia que era mais fácil extrair e representar o conhecimento especializado. Mais crucial porém, era percepção de que conhecimento e regras heurísticas são específicos para certos domínios e não são intercambiáveis entre eles. O significado destas considerações era que os sistemas baseados no conhecimento deveriam buscar soluções para problemas restritos, específicos, ou seja, problemas normalmente sujeitos à consideração de especialistas humanos.

Dentro deste contexto, começaram a ser desenvolvidos os programas de computador com propósito específico, sistemas que eram especialistas em alguma área limitada do conhecimento. Esses programas foram chamados *Sistemas Especialistas* e, assim, teve início um novo campo de pesquisas dentro da I.A. .

Os primeiros Sistemas Especialistas (S.E.'s) foram produtos de grandes projetos, que utilizaram durante o seu desenvolvimento equipes interdisciplinares por vários anos. Algumas informações a esse respeito, registram que equipes de quatro a seis pessoas trabalharam de quatro a cinco anos em um único projeto. Esses sistemas são referenciados como clássicos porque forneceram o modelo e o paradigma para o desenvolvimento de outros sistemas especialistas. Um bom exemplo a ser citado é o projeto DENDRAL que talvez tenha sido o projeto de mais longa duração. Ele foi iniciado em 1965 através de um projeto conjunto entre Stanford Spectrometry Laboratory e Stanford Heuristic Programming Project. O DENDRAL infere as possíveis estruturas moleculares de compostos desconhecidos, usando dados de espectroscopia de massa e análise de ressonância magnética, em conjunto com conhecimento heurístico similar ao usado pelos químicos quando executam a mesma tarefa. A geração sistemática de todas as estruturas orgânicas plausíveis para uma molécula desconhecida significa que seu desempenho é algumas vezes superior ao de especialistas da área.

Após vários anos de trabalho em ambientes de laboratório, isto é, projetos motivados mais pela curiosidade acadêmica, os sistemas especialistas tornaram-se alvo de relevantes esforços, e alcançaram um sucesso significativo, tanto em termos de desenvolvimento técnico como comercial, em diversos campos do conhecimento.

Na área de medicina, o sistema especialista mais famoso é o MYCIN. O projeto MYCIN, iniciado em meados de 1970 na Universidade de Stanford, tinha como propósito projetar um sistema que pudesse auxiliar os médicos no diagnóstico e tratamento de infecções do sangue (bacterianas). Atualmente, ele está sendo usado comercialmente por médicos (clínicos), em pesquisas e no ensino de medicina. Os sistemas especialistas que estão sendo desenvolvidos em medicina incluem interpretação de dados de testes médicos, diagnóstico de doenças, tratamento de doenças e instrução em diagnóstico médico.

A utilização de sistemas especialistas em geologia começou com o PROSPECTOR, um sistema desenvolvido pelo Stanford Research Institute,

iniciado em 1974. Ele foi projetado para ajudar os geólogos na localização de depósitos de minerais, tendo previsto com acuracidade um depósito de molibdênio próximo ao Monte Tolman (Washington - EUA), em 1980.

Inúmeras outras aplicações em diversas áreas poderiam ser citadas, como na computação (sistema XCON para configuração de computadores, de acordo com o pedido do cliente), na engenharia (sistema DELTA para diagnosticar falhas em locomotivas, sistema REACTOR que ajuda a diagnosticar e tratar acidentes em reatores nucleares), e na área militar, entre outras.

Informações sobre sistemas especialistas já implantados e suas características funcionais podem ser encontradas em WATERMAN [4], que seguramente é uma das melhores publicações sobre sistemas especialistas.

ÊNFASE NO CONHECIMENTO

O processo de construção de um S.E. exige uma grande interação entre quem o está construindo e um ou mais especialistas humanos em alguma área do conhecimento. O construtor, as vezes chamado de engenheiro do conhecimento, procura absorver dos especialistas os procedimentos, estratégias e heurísticas que eles utilizam na solução de problemas, para incorporar este conhecimento no sistema especialista. O resultado desse processo é um programa de computador que resolve problemas à semelhança de especialistas humanos.

Pode-se, portanto, inferir que a aquisição e codificação do conhecimento é um dos aspectos mais importantes de um sistema especialista.

Esta questão será tratada mais profundamente, quando da apresentação da estrutura de um S.E.

MANIPULAÇÃO DOS SÍMBOLOS

Através do estudo do processo pelo qual especialistas resolvem problemas, constatou-se que eles não se utilizam de conjuntos de equações, nem mesmo executam cálculos matemáticos complexos. Em vez disso, na primeira abordagem eles usam símbolos para representar os conceitos do problema, e aplicam várias estratégias e heurísticas para manipular esses conceitos.

Um sistema especialista também representa o conhecimento através de símbolos, ou seja, caracteres relacionados a algum conceito real (prático), como no exemplo:

Pneu
Área Central
0,8

Estes símbolos quando combinados expressam as relações existentes entre eles. Para o exemplo, seriam:

Pneu - desgaste irregular na banda de rodagem
Região - central (meio)
Excesso de pressão - probabilidade 0,8

Estes símbolos são peças de evidência na descrição ou na solução de um problema. Para o exemplo em questão, eles significam: "o pneu apresenta desgaste irregular na região central, portanto a probabilidade é de 80% da causa ser operação com excesso de pressão".

Sistemas Especialistas, de forma semelhante, também manipulam símbolos para resolver um problema. Como consequência dessa abordagem, através de símbolos, a representação do conhecimento - escolha, forma e interpretação dos símbolos - torna-se um dos aspectos mais importantes dos sistemas especialistas.

OUTRAS CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS

Um sistema especialista, apesar de ser um programa de computador, difere significativamente dos sistemas de processamento convencionais. Enquanto os softwares convencionais empregam linguagens de programação procedurais, os sistemas especialistas empregam representação simbólica, inferência e pesquisa heurística.

Esta diferença também ocorre na forma pela qual um sistema especialista é organizado (estruturado). Nos programas convencionais, basicamente é utilizada computação numérica, através de algoritmos bem estabelecidos, implicando em que, uma vez expressas as relações entre os dados e o algoritmo nos procedimentos de programação, qualquer alteração ou mesmo a manutenção do programa pode exigir uma completa revisão do mesmo.

Os sistemas especialistas, por sua vez, apresentam uma estrutura particular de organização, segundo a qual o conhecimento (fatos e regras) está separado dos mecanismos e inferência (seleção e busca), o que permite fácil expansão ou alteração do sistema.

Outros recursos que diferem os sistemas especialistas, dizem respeito à possibilidade que estes têm de gerar conclusões mesmo quando as informações são incompletas ou sob condições de incerteza e à capacidade dos sistemas especialistas de examinar seu processo de raciocínio (listando as alternativas consideradas ou indicando as inferências que conduziram à conclusão).

Após essas considerações iniciais, que procuram explicitar as várias dimensões de um sistema especialista sem, entretanto, deter-se em detalhes, procurar-se-á estabelecer exatamente o que é um sistema especialista, o que ele faz e como faz.

1.2. Conceitos e Funções dos Sistemas Especialistas

1.2.1. Conceituação

O termo sistema especialista tem sido usado para referenciar uma grande variedade de sistemas computacionais, dos mais sofisticados aos mais simples. Entre esses sistemas estão os sistemas baseados em conhecimento, que são precipitadamente classificados como sistemas especialistas. Essa confusão advém do fato de que ambos são organizados da mesma forma, ou seja, o conhecimento sobre o problema está separado dos outros componentes do sistema. O que distingue um sistema especialista é esse conhecimento que é aplicado na solução de problemas reais de relativa complexidade. Um programa de inteligência artificial para jogar xadrez não pode ser considerado um sistema especialista, apesar de ter o conhecimento separado do resto do programa.

Assim, pode-se observar que sistemas especialistas constituem um subconjunto dos sistemas baseados em conhecimento, isto é, todo sistema especialista é um sistema baseado em conhecimento, contudo o inverso não é verdadeiro.

Mesmo tendo-se clara essa distinção, ainda assim há pouca concordância entre os pesquisadores sobre que programas podem ser adjetivados como sistemas especialistas ou sobre que propriedades ou componentes deve ter. O acelerado avanço que esta tecnologia vem experimentando nos últimos anos, contribui em muito para isso.

As várias definições exprimem bem a diversidade de interpretação e de ênfase dos vários pesquisadores. O artigo escrito por BROOKS [5] apresenta quatro definições, de autores diversos:

- "[Um sistema especialista] é um sistema computacional que obtém alto nível de desempenho em tarefas que requerem anos de educação especial e treinamento do ser humano".

- "Um sistema especialista é um conjunto de programas de computador que tentam igualar ou superar a habilidade humana, aplicando as técnicas de inferência lógica a uma base de conhecimento. Uma base de conhecimento é diferente de uma base de dados ou arquivo de computador porque ela armazena informações sobre como realizar as tarefas, tais como as regras que um especialista aprende pela experiência".
- "Um sistema especialista é tal que:
 - . aplica-se a problemas reais complexos que exigem a interpretação de um especialista
 - . resolve esses problemas utilizando um modelo computacional do raciocínio humano, e chega às mesmas conclusões a que chegaria um especialista se deparado com um problema semelhante".
- "O termo sistema especialista refere-se a programas de computador que aplicam substanciais conhecimentos de áreas específicas ao processo de solução de problemas".
- Para GRANT [6], "um sistema especialista é um programa de computador inteligente que usa conhecimento e procedimentos de inferência para resolver problemas que são difíceis o suficiente para exigir uma significativa especialização humana para a solução".
- Para BARTON [7], "sistemas especialistas são formas de aplicar as idéias e técnicas da inteligência artificial. A finalidade é produzir um sistema que possa auxiliar um usuário a lidar com alguma classe específica de problemas, oferecendo muito da ajuda que seria dada por um especialista, se consultado".

Essas definições podem ser classificadas como estruturais, uma vez que enfatizam principalmente a representação no computador de um certo tipo de conhecimento especializado, vinculado a um domínio relativamente limitado (onde atua o especialista) e segundo uma estrutura particular de organização.

Com o avanço das pesquisas e como resultado das aplicações práticas que deram grande repercussão a essa nova tecnologia, a esfera de

ação dos sistemas especialistas foi ampliada, novas características especiais foram salientadas e outros recursos adicionados ao sistema. Por essas razões, as definições que procuram descrever estruturalmente o sistema especialista correm o risco de se tornarem obsoletas, ou pouco flexíveis na medida que associam sistemas especialistas aos seus componentes básicos.

Para que a definição de sistemas especialistas não se torne específica ou limitada, ela deve ser desvinculada das características estruturais (organização interna) e dos métodos utilizados, porque essas questões estão intimamente associadas às decisões de projeto e desenvolvimento de um sistema especialista, e **não refletem o que ele faz, mas sim como ele é constituído.**

Para os propósitos deste trabalho, que busca absorver a tecnologia de sistemas especialistas, visando a sua aplicação prática, no domínio da Engenharia de Produção, é proposta, a seguir, uma definição *operacional* que reflita todas as possibilidades de uso e potencialidade desses sistemas. Este ganho na amplitude será conseguido através de uma conceituação mais generalizada e mais orientada para a implementação de sistemas especialistas.

- **"[Um sistema especialista] é um sistema computacional (programas integrados) que coloca conhecimentos especializados à disposição do usuário, para aplicação em algum aspecto de um problema, cuja solução interessa a esse usuário".**

Uma consequência imediata da definição proposta é a possibilidade da consideração explícita do estágio de desenvolvimento em que o Brasil se encontra. Por exemplo, sistemas especialistas justificáveis no contexto brasileiro, podem não ter sentido (necessidade) em países mais desenvolvidos. Em outras palavras, a definição sugere que a especialidade necessária é dependente do contexto, e sob essa consideração um sistema especialista pode ser de muita utilidade mesmo quando resolve parte de um problema.

Através dessa definição, pretende-se também reforçar o papel da Engenharia de Produção no desenvolvimento de sistemas especialistas, principalmente na aplicação desta tecnologia aos problemas da área.

1.2.2. A que Tipos de Problemas se Aplica um Sistema Especialista

Estabelecer, através de condições gerais, quando é adequado aplicar a abordagem de sistemas especialistas tem sido uma preocupação constante da comunidade de I.A.. Nota-se que a simples identificação das condições de contorno para a aplicação dessa tecnologia não é suficiente para determinar quando utilizá-la, uma vez que essas condições dão margem a interpretações por demais subjetivas. Outras informações são necessárias para tornar essa questão mais clara, e inclusive reforçar o potencial de aplicação de sistemas especialistas a problemas reais.

A partir da evolução teórica, do concurso de várias universidades e empresas e do acesso mais fácil à tecnologia de sistemas especialistas, inclusive pela disponibilidade de softwares específicos (shells), ampliou-se a esfera de ação e, conseqüentemente, as áreas de aplicação desses sistemas.

Apesar do material técnico, sobre os tipos de problemas que podem ser tratados por sistemas especialistas, ser relativamente limitado, porque a área ainda está em processo de evolução (mas muito rápida), algumas alternativas podem ser levantadas para orientar a decisão de quando desenvolver um sistema especialista.

Uma alternativa é descrever as funções que podem ser desempenhadas por um sistema especialista, ou em que atividades podem ser empregados: como um consultor; como uma ferramenta de modelagem; como tutorial (fornece ajuda no aprendizado) e como um assistente inteligente (TURBAN [8]; MOILY; MURRAY; AGARWAL [9]).

Outra alternativa é listar as aplicações clássicas e as áreas onde as aplicações de sistemas especialistas tiveram ou têm sucesso, como diagnóstico médico, exploração mineral, engenharia, etc. (LIGEZA [10]; WATERMAN [4]; KUMARA et alii [11]). Entretanto, esta alternativa é deficiente em vários aspectos, primeiro porque exigiria um levantamento exaustivo de todas as aplicações efetuadas, e essa relação correria o risco de ser demasiadamente longa ou mesmo não contemplar algumas aplicações por mera falta de informação. Em segundo lugar, tornar-se-ia obsoleta em curto espaço de tempo, devido à rápida evolução teórica e prática a que essa área está submetida.

A alternativa que parece mais significativa para um melhor entendimento dessa questão é estabelecer classes de problemas que podem ser tratados por sistemas especialistas. Várias categorizações são mencionadas na literatura, como a de BLANNING [12] que apresenta três categorias voltadas para o campo da Administração:

- **Alocação de Recursos** - principalmente a alocação de recursos financeiros a projetos ou investimentos.
- **Problemas de Diagnóstico** - no sentido de antecipação a problemas em potencial.
- **Programação** - envolvendo atividades logísticas de distribuição e produção, e a alocação de recursos (pessoal, equipamentos e materiais) a tarefas.

Outra categorização, também de domínio específico, é encontrada em KUMARA et alii [11], onde são exploradas áreas de aplicação dentro da Engenharia Industrial.

Uma das primeiras tentativas de estabelecer uma categorização geral deve-se a STEFIK et alii [13]. Nessa proposta, as tarefas são classificadas como sendo de:

- . Interpretação de Dados
- . Diagnose
- . Monitorização
- . Planejamento
- . Projeto.

Neste trabalho, será adotada a classificação proposta por GEVARTER [14], que identifica as principais classes de problemas que podem ser abordados via sistemas especialistas, classes essas identificadas por funções que podem ser desempenhadas.

Segundo essa classificação, as principais funções de aplicação dos sistemas especialistas são:

- **Classificação** - refere-se à seleção de uma resposta entre um conjunto fixo de alternativas, tendo como base a informação de entrada que é dada ao sistema. Algumas subclasses podem ser destacadas:
 - . Interpretação de Medidas - seleção de hipóteses realizada com base nos dados e informações correlatas.
 - . Diagnóstico - o sistema além de interpretar dados, também busca informações adicionais para identificar situações prováveis
 - . Tratamento ou Reparo - esta função é relativa às ações que devem ser tomadas para corrigir uma situação adversa que tenha sido diagnosticada.
- **Tutorial** - sistemas especialistas podem ser muito úteis para conduzir usuários na execução de trabalhos especializados, ou não; para repassar conhecimento, ou para realizar trabalhos em outros domínios (por exemplo, no reparo de automóveis ou como pilotar uma aeronave).

- **Projeto e Síntese** - é relativo a configuração de um problema com base em um conjunto de alternativas possíveis. O sistema especialista incorpora restrições que o problema deve satisfazer, bem como incorpora os passos que devem ser dados para que o problema seja resolvido, à luz dos objetivos do usuário.
- **Assistente Inteligente** - nesta categoria, a ênfase é obter um sistema que, dependendo das necessidades do usuário, pode fornecer conselhos, informações ou desempenhar várias atividades.
- **Predição** - refere-se à previsão do que acontecerá no futuro, tendo como ponto de partida as informações do estado atual. Os sistemas mais dinâmicos podem envolver o uso de modelos, por exemplo, de simulação.
- **Programação** - diz respeito à ordenação no tempo de um dado conjunto de tarefas, levando-se em consideração os recursos disponíveis.
- **Planejamento** - é a seleção de uma série de ações a partir de um conjunto complexo de alternativas para atingir os objetivos do usuário. É mais complexo que programação, pois neste caso as tarefas não são dadas, são escolhidas.
- **Monitoramento** - refere-se à observação de uma situação em termos da sua evolução (progresso) planejada ou pretendida, alertando o usuário se ocorrer algum desvio. Aplicações típicas são vôos espaciais, processos contínuos, quadro clínico de doentes, etc..
- **Controle** - é uma combinação de monitorar um sistema e executar as ações apropriadas em resposta ao processo de monitoramento.

- **Informação** - neste caso, um sistema recebe uma informação e a devolve com uma nova organização ou síntese. Uma aplicação pode ser o assessoramento sobre políticas de estocagem face às condições do mercado.
- **Descoberta** - é similar a conversão de informações, exceto que a ênfase está na descoberta de novas relações ou conceitos. Esta função ainda é uma área de pesquisa. (Ex. leis elementares da física, novos conceitos matemáticos, etc.).

1.2.3. Quando Desenvolver um Sistema Especialista

Determinar, em termos gerais, quais as características que determinam quando um problema é adequado para o desenvolvimento de um sistema especialista é uma tarefa difícil, porque envolve a consideração de vários fatores com alta dose de subjetividade, e também porque a experiência acumulada ainda é pouco expressiva, o que se reflete no escasso material técnico disponível sobre o assunto, principalmente sobre as aplicações realizadas.

A despeito dessas dificuldades, é necessário o estabelecimento de diretrizes que apontem qual direção seguir. Sem essas diretrizes, a tecnologia de sistemas especialistas seria como **ter um computador e não saber o quê e como programar.**

WATERMAN [4] apresenta três dimensões para a análise da questão do desenvolvimento de sistemas especialistas:

- . se é possível
- . se é justificável
- . se é apropriado.

QUANDO O DESENVOLVIMENTO É POSSÍVEL

Para estabelecer quando o desenvolvimento de sistemas especialistas é *possível* dois parâmetros podem ser analisados: a tarefa e o especialista humano.

Em termos da tarefa, é importante identificar as características do problema que será resolvido pelo sistema especialista. A tarefa deve exigir principalmente aptidões cognitivas e não físicas, com o intuito de evitar as tarefas que só podem ser aprendidas através da prática, que são mais apropriadas aos métodos convencionais.

Outra característica da tarefa refere-se ao grau de complexidade. A tarefa não deve ser extremamente difícil (nem muito fácil), pois isso dificultaria o processo de aquisição do conhecimento e sua conseqüente instalação no sistema, pois seria necessário uma maior vivência no assunto. Uma tarefa difícil é aquela que tomaria dias ou semanas de um especialista para resolvê-la. Outro aspecto da complexidade da tarefa diz respeito ao entendimento do problema, ou seja, se o conhecimento sobre o processo de solução é preciso e estruturado. Se a tarefa é nova e mal compreendida a ponto de exigir a realização de pesquisas básicas para encontrar soluções, sistemas especialistas não se aplicam. Além disso, a tarefa não pode exigir conhecimento de senso comum ou geral (processos associativos de fatos desvinculados do mesmo domínio).

Outros elementos que poderiam ser associados à natureza da tarefa e que auxiliam a decidir sobre a possibilidade de desenvolvimento de um sistema especialista são relativos à facilidade de obter dados e informações sobre o problema e sobre a freqüência de ocorrência do problema caracterizando-se como um problema estático ou dinâmico.

Em relação ao especialista humano, indivíduo que tem alto grau de conhecimento, habilidades e aptidões em certa área (domínio), é necessário que de fato ele exista. Contudo, só o fato de existirem especialistas não é suficiente, é preciso também que eles participem do processo de validação do

sistema, ou seja, eles devem concordar com as escolhas e soluções geradas. Além disso, o especialista deve ser capaz de explicitar completamente o seu processo de raciocínio, o que as vezes não é conseguido porque é difícil para o especialista sistematizar o seu processo de raciocínio que é automático e associativo, e muito baseado na experiência pessoal.

Resumindo, o desenvolvimento de sistemas especialistas é possível, conforme figura 1.1.

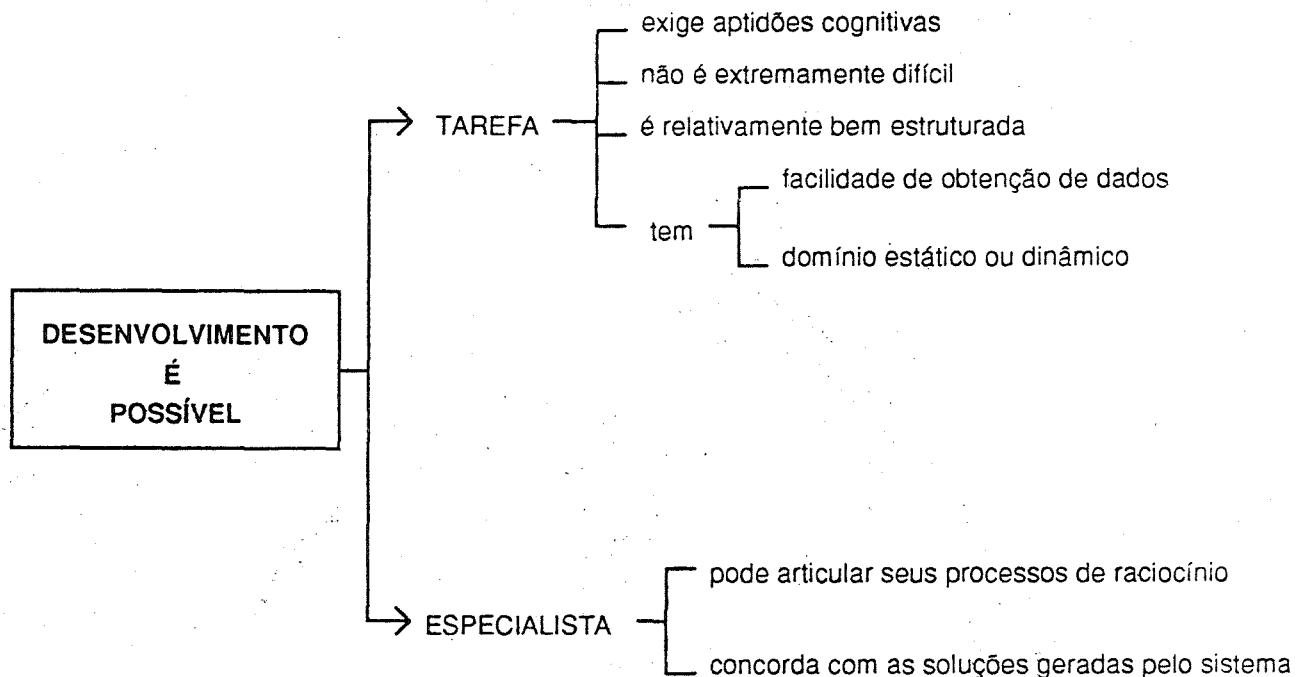


FIGURA 1.1 - Condições Necessárias para o Desenvolvimento do S.E.

Fonte: (WATERMAN [4]).

QUANDO O DESENVOLVIMENTO É JUSTIFICÁVEL

O fato de que o desenvolvimento de um sistema especialista é possível para uma determinada tarefa, não significa que seja desejável fazê-lo.

O desenvolvimento de um sistema especialista, para uma certa tarefa, é justificado quando não houver disponibilidade de especialistas, que são raros e muito caros, ou mesmo quando se precisa simultaneamente do mesmo tipo de especialista em vários locais diferentes.

Outra situação que pode justificar o desenvolvimento, ocorre quando o conhecimento especializado é necessário em lugares hostis ou que ofereçam riscos à vida humana. Podem ser citados como exemplo, a execução de determinadas atividades que ocorrem em situações perigosas, como no caso de terremotos ou usinas nucleares. Nestas situações um sistema especialista controlado a distância é uma alternativa viável.

Finalmente, sistemas especialistas também se justificam para preservar a memória institucional de uma organização, que pode ser perdida devido a mudança do pessoal experiente, que levam consigo os conhecimentos e habilidades (especializados) as vezes vitais para a organização, ou quando a solução de tarefa tem um retorno alto (financeiro ou social).

Na figura 1.2 estão sintetizados os fatores que podem justificar o desenvolvimento de um sistema especialista.

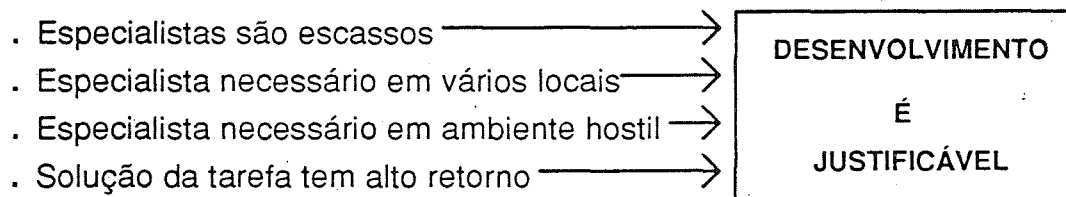


FIGURA 1.2 - Fatores que Justificam o Desenvolvimento do S.E.

Fonte: (WATERMAN [4]).

QUANDO O DESENVOLVIMENTO É APROPRIADO

Um problema para ser candidato a uma solução através de sistemas especialistas deve apresentar certas características inerentes. Ele deve ser de tal natureza, que permita a solução através da manipulação de símbolos e de estruturas simbólicas. Quando da apresentação das características especiais de um sistema especialista foi destacada a propriedade dos sistemas especialistas de utilizar símbolos para representar um problema, uma das características que os distinguem dos programas convencionais.

Outros problemas que são apropriados para serem abordados via sistemas especialistas são os que têm uma natureza essencialmente heurística. Aqueles problemas que podem ser resolvidos através de procedimentos formais que garantem sempre a melhor solução não são bons candidatos para o desenvolvimento de sistemas especialistas, como os problemas que têm solução tratável matematicamente.

Além disso, o problema deve ser suficientemente estreito para torná-lo gerenciável e suficientemente amplo para assegurar que haja algum interesse prático. Infelizmente, a definição do que é gerenciável e prático depende do domínio do problema em questão. Uma das mais perigosas armadilhas que podem ocorrer durante o desenvolvimento de um sistema especialista é escolher um problema que seja muito amplo ou muito geral para ser tratado adequadamente.

2. ESTRUTURA DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS

O entendimento do que é um sistema especialista pode ser obtido através da identificação e análise dos componentes de tais sistemas, em um nível abstrato o suficiente para permitir que generalizações sejam feitas e para explorar suas características funcionais.

Funcionalmente, um S.E. é projetado para produzir o desempenho de um especialista, em certa área do conhecimento, através da interação do usuário com o sistema. Para que isto aconteça, o sistema deve apresentar, além das já mencionadas, as seguintes características:

- seu desempenho deve ser comparável ao de um especialista em termos da confiabilidade e acuracidade de suas recomendações;
- o conhecimento, que ele contém, deve ser facilmente atualizável;
- deve ser capaz de aceitar a descrição de um problema em qualquer forma e transformá-la em esquemas próprios de representação; e
- deve ser capaz de verificar a consistência da descrição do problema e dos dados de entrada, e fornecer ao usuário alguma indicação ou medida de uma possível inconsistência.

Em função disso, um S.E. deve contemplar, no mínimo, três elementos: a Base de Conhecimento, a Máquina de Inferência e a Interface com o Usuário, conforme ilustrado na figura 2.1.

Consoante com essa descrição a um nível abstrato, para explicitar o que é um sistema especialista, além dos três elementos básicos foram relacionadas: a questão da linguagem e integração com outros softwares e as alternativas de desenvolvimento.

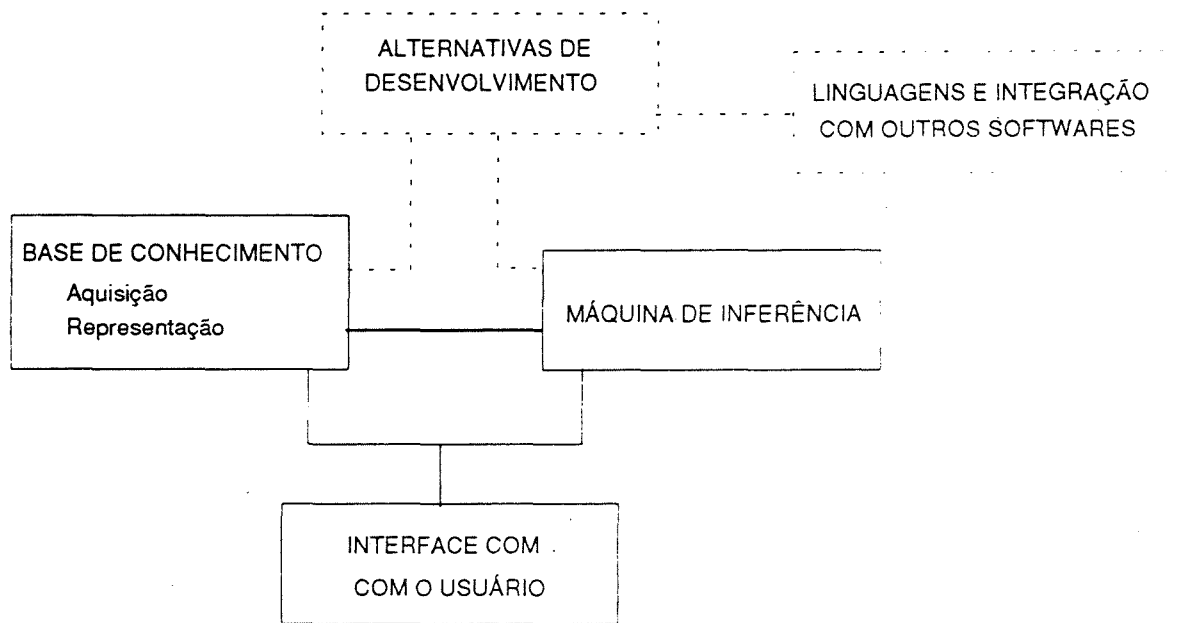


FIGURA 2.1 - Estrutura de um Sistema Especialista (linhas sólidas indicam relações básicas e as linhas tracejadas representam aspectos relacionados).

2.1. Base de Conhecimento

A Base de Conhecimento é o componente vital de um S.E.. Ela materializa o conhecimento especializado que o sistema deve usar para resolver problemas dentro do domínio selecionado. Diferentes tipos de conhecimento podem ser incorporados, por exemplo, conhecimento sobre como resolver o problema, conhecimento sobre entidades ou objetos do domínio e suas relações e fatos sobre o domínio onde o problema se manifesta.

Dentro dessa conceituação, duas questões fundamentais surgem. A primeira refere-se a *identificação de qual conhecimento é necessário para resolver o problema e de como esse conhecimento pode ser adquirido*, e a segunda a de *como representar esse conhecimento no sistema especialista*.

Essas questões quando consideradas conjuntamente indicam a necessidade de entendimento e identificação das características do problema.

dos objetivos, do processo de solução e de métodos de representação. Além disso, em problemas onde o domínio é vasto, é preciso que o conhecimento relevante seja utilizado seletivamente.

Retomando a colocação inicial, e à luz dessas considerações, pode-se afirmar que a Base de Conhecimento em um S.E. contém o conhecimento adquirido sobre um certo domínio, representado no sistema de uma forma específica. Esse conhecimento sobre o domínio está separado de outras partes do sistema, por exemplo, conhecimento sobre como resolver problemas, mecanismos de busca e ordenação e os comandos de controle do sistema.

O conjunto de conhecimentos sobre o domínio escolhido é chamado Base de Conhecimento, enquanto que o conhecimento geral para solução de problemas é chamado de Máquina de Inferência.

2.1.1. Aquisição do Conhecimento

Adquirir o conhecimento é apontado na literatura especializada como uma das atividades fundamentais para o desenvolvimento de um sistema especialista. Em essência, o conhecimento compõe-se de fatos, idéias, conceitos ou soluções obtidas através do estudo, investigação, observação ou experiência.

A aplicação desse conhecimento em sistemas especialistas pressupõe a habilidade de perceber o campo de ação, de selecionar o conhecimento relevante e de extraí-lo de alguma fonte. Duas considerações se fazem necessárias: que fontes podem originar o conhecimento necessário e, qual o processo de extração desse conhecimento.

O conhecimento sobre o domínio do problema pode constituir-se de fatos que expressem proposições válidas, crenças que expressem proposições plausíveis e regras heurísticas que representem valores ou

juílgamentos para certas situações onde algoritmos estabelecidos não se aplicam.

O conhecimento para um sistema especialista pode ser obtido de várias fontes, tais como livros, estudos de caso, relatórios, dados empíricos e da própria experiência de especialistas.

Independentemente da fonte que for escolhida, a dificuldade nesta etapa está na identificação de qual o conhecimento necessário, e em como sistematizá-lo em um processo lógico para solução de um problema. Tome-se, por exemplo, o caso de um especialista, do qual é possível obter o conhecimento, através de uma interação direta, ou seja, uma série prolongada de intensivas e sistemáticas entrevistas, onde são apresentados, ao especialista humano, tipos de problemas reais que o sistema especialista está sendo projetado para resolver. Contudo, isto não garante que os resultados desejados sejam obtidos, porque os especialistas normalmente têm grande dificuldade em explicitar o processo de raciocínio que empregam na solução de problemas. A seguir é apresentado um trecho, extraído de WATERMAN [4], que comenta este fato:

"Aparentemente, os especialistas têm uma tendência de estabelecer suas conclusões e o processo de raciocínio por trás delas em termos gerais, que são demasiadamente amplos para uma análise efetiva através de uma máquina. Em termos da máquina, é vantajoso trabalhar com informações básicas claramente definidas que possam ser utilizadas em análises mais complexas. Em contraste, o especialista raramente opera a um nível básico. Ele faz juílgamentos complexos rapidamente, sem reexaminar e reestabelecer arduamente cada passo em seu processo de raciocínio. As peças do conhecimento básico são levantadas e combinadas tão rapidamente, que se torna difícil para ele descrever todo o processo..."

Essas relações podem ser resumidas na seguinte frase:

"Quanto mais experiente um especialista, mais difícil é para ele descrever o conhecimento que emprega na solução de problemas, e de formalizar o seu processo de raciocínio".

Assim, se o conhecimento tiver que ser extraído de um especialista, cuidados adicionais devem ser tomados.

Em seu livro, WATERMAN [4] apresenta uma série de conselhos úteis e de formas alternativas de obter o conhecimento, quando a fonte for um especialista.

2.1.2. Representação do Conhecimento

Existem várias técnicas de representação do conhecimento, algumas delas podem ser usadas isoladamente ou em conjunto com outras na construção de um sistema especialista. Cada uma dessas técnicas dá ao sistema diferentes medidas de desempenho, por exemplo, pode torná-lo mais eficiente, mais fácil de ser entendido ou mais fácil de ser modificado.

As técnicas mais amplamente utilizadas nos sistemas especialistas atuais são Regras (de Produção), Redes Semânticas e Frames.

REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO USANDO REGRAS

O termo Regra no contexto de sistemas especialistas tem um significado bem específico, que difere do utilizado na linguagem comum. O termo faz referência à técnica mais popular e mais empregada de representação do conhecimento, chamada de IF-THEN ou Regras de Produção ou, às vezes, Sistemas de Produção. As regras constituem-se em um modo formal de representar recomendações, diretrizes, estratégias ou situações/ações. Elas são muito apropriadas quando o domínio resulta de associações empíricas desenvolvidas através da experiência prática na solução de problemas em uma área.

Regras são expressas através de cláusulas SE-ENTÃO, representando que ação deve resultar, quando uma determinada situação ocorrer. À cláusula SE associa-se a uma ou mais condições, que se satisfeitas levam a ação descrita na cláusula ENTÃO, ou seja:

SE [determinada condição ou situação ocorre]
ENTÃO [ação recomendada]

Em um sistema especialista que adote esta técnica de representação, o conhecimento sobre o domínio transforma-se em um conjunto de regras que são utilizadas para avaliar e comparar os fatos ou informações disponíveis sobre uma situação que esteja sendo analisada (examinada). Quando os fatos satisfazem a parte SE da regra, a ação especificada na parte ENTÃO é executada, como no exemplo a seguir:

SE [O problema é de sequenciamento de n tarefas em uma máquina relevante (dominante do processo)
e;
[deseja-se minimizar o tempo médio de permanência do conjunto das n tarefas na oficina]
ENTÃO [seqüenciar as tarefas segundo a ordem não decrescente de seus tempos de processamento (Shortest Processing Time Rule)].

Um interpretador de regras, isto é, um programa cuja função é decidir o que fazer a seguir, no caso de sistemas especialistas tem a tarefa especial de decidir que regras acionar a seguir (dentro do conjunto de regras disponíveis), de modo a resolver o problema utilizando a base de conhecimento e as respostas do usuário.

A grande popularidade desta técnica de representação deve-se, basicamente a dois aspectos: modularidade e uniformidade. A modularidade assegura que qualquer regra pode ser adicionada, deletada ou modificada independentemente das demais. A uniformidade é assegurada uma vez que todas as informações são codificadas dentro da rígida estrutura das regras, o que permite que elas sejam facilmente compreendidas por outra pessoa ou outra parte do sistema.

Em seu artigo, LIGEZA [10] distingue tipos de regras de acordo com sua natureza (origem) e sua função. Essa classificação, que pode ter utilidade quando da concepção da base de conhecimento, envolve:

- . **Regras Dedutivas** - regras de inferência básica, utilizadas no processo de raciocínio, e que devem representar o conhecimento do especialista sobre o domínio escolhido. O seu propósito é gerar novos fatos baseados no estado atual da base de conhecimento e nas respostas do usuário para certas questões.

- . **Regras de Extensão** - são mais independentes do domínio que as regras dedutivas. Elas podem ser usadas para representar características gerais de certas relações, como simetria, transitividade.

- . **Regras de Teste** - durante o processo de raciocínio pode tornar-se necessário verificar se certas situações são prováveis de ocorrer ou não. Regras especialmente projetadas para tal finalidade, especificam na parte SE (condição) as limitações dentro das quais o resultado do teste deve ser incorporado à base de conhecimento (o resultado está colocado na parte ENTÃO). Regras que testem a ocorrência de alguma inconsistência servem de exemplo.

No caso particular das Regras de Teste é necessário observar que uma das características que um sistema especialista deve apresentar são os mecanismos de verificação de inconsistência. Esses mecanismos, normalmente, estão presentes nos outros programas que compõem o sistema e, conseqüentemente, tornam-se dispensáveis de serem explicitados nas regras que compõem a base de conhecimento. Alguns softwares específicos para o desenvolvimento de sistemas especialistas, (nos quais, basicamente, só é necessário instalar o conhecimento) já possuem, na máquina de inferência, programas de controle que verificam possíveis inconsistências entre as regras.

Essas considerações estão ligadas ao tópico máquina de inferência, que será apresentado posteriormente.

REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO USANDO REDES SEMÂNTICAS

Neste tipo de técnica, a representação do conhecimento é feita com base na estrutura de uma rede, ou seja, através de arcos e nós. As redes semânticas foram desenvolvidas inicialmente como modelos psicológicos, para representar a característica associativa da memória humana. Uma rede semântica consiste de pontos (chamados de nós) conectados através de linhas (chamadas arcos) que descrevem as relações entre os nós. Os nós, em uma rede semântica representam objetos, conceitos ou eventos, e os arcos podem ser definidos de várias formas, dependendo da relação que se deseja representar como: é-um; parte-de; instância-de; usado-por, etc. (representam as relações entre os nós). A figura 2.2 ilustra um exemplo de representação do conhecimento através de redes semânticas.

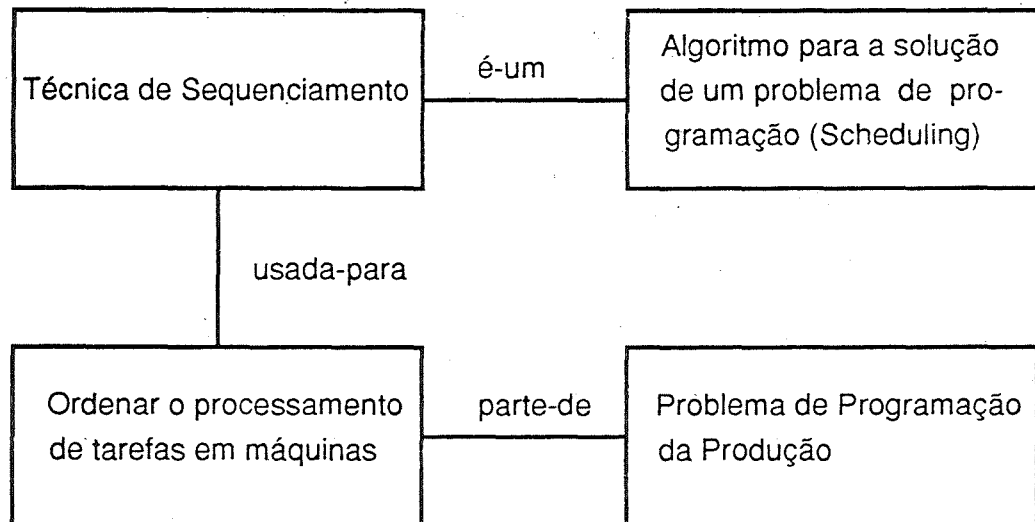


FIGURA 2.2 - Representação através de uma Rede Semântica.

As relações expressas nos arcos, através de é-um, parte-de etc, dão origem a propriedades emergentes na rede, ou seja, um item inferior da rede pode receber propriedades ou características de um item superior. Este

fato economiza espaço (memória) uma vez que informações sobre nós similares não precisam ser repetidas (um engloba o outro) - Herança de Propriedades.

As redes semânticas também têm sido utilizadas na linguagem comum, para representar sentenças. Neste caso os arcos definem as relações entre os predicados e os conceitos associados a eles.

REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO USANDO "FRAMES"

No campo da inteligência artificial, o termo *frame* refere-se a uma maneira especial de representar conceitos e situações comuns. A idéia de *frame* foi originada por Marvin Minsky que a descreve da seguinte forma (KUMARA et alii [11]):

"Frame é como uma estrutura de dados para representar uma situação estereotipada, como estar em um certo tipo de sala de estar, ou ir a uma festa de aniversário de uma criança. Em cada *frame* são colocados vários tipos de informação. Algumas dessas informações referem-se a como usar o *frame*. Outras são relativas à expectativa do que pode acontecer a seguir, e algumas dizem respeito a o que fazer se essas expectativas não se confirmarem".

Frames são organizadas de forma muito semelhante a uma rede semântica, como se fosse uma rede de nós e relações organizadas em uma hierarquia, onde os nós mais altos representam conceitos gerais, e os nós mais baixos instâncias específicas desses conceitos.

A diferença é que em um sistema do tipo *frame*, o conceito em cada nó é definido por uma coleção de atributos, por exemplo, tamanho, cor, nome e pelos valores desses atributos, grande, azul, torno. Esses atributos são chamados compartimentos ("slots"). Cada compartimento tem procedimentos computacionais associados, que são acionados para incluir, modificar ou deletar uma informação.

A figura 2.3 apresentada a seguir ilustra a representação baseada em *frames*.

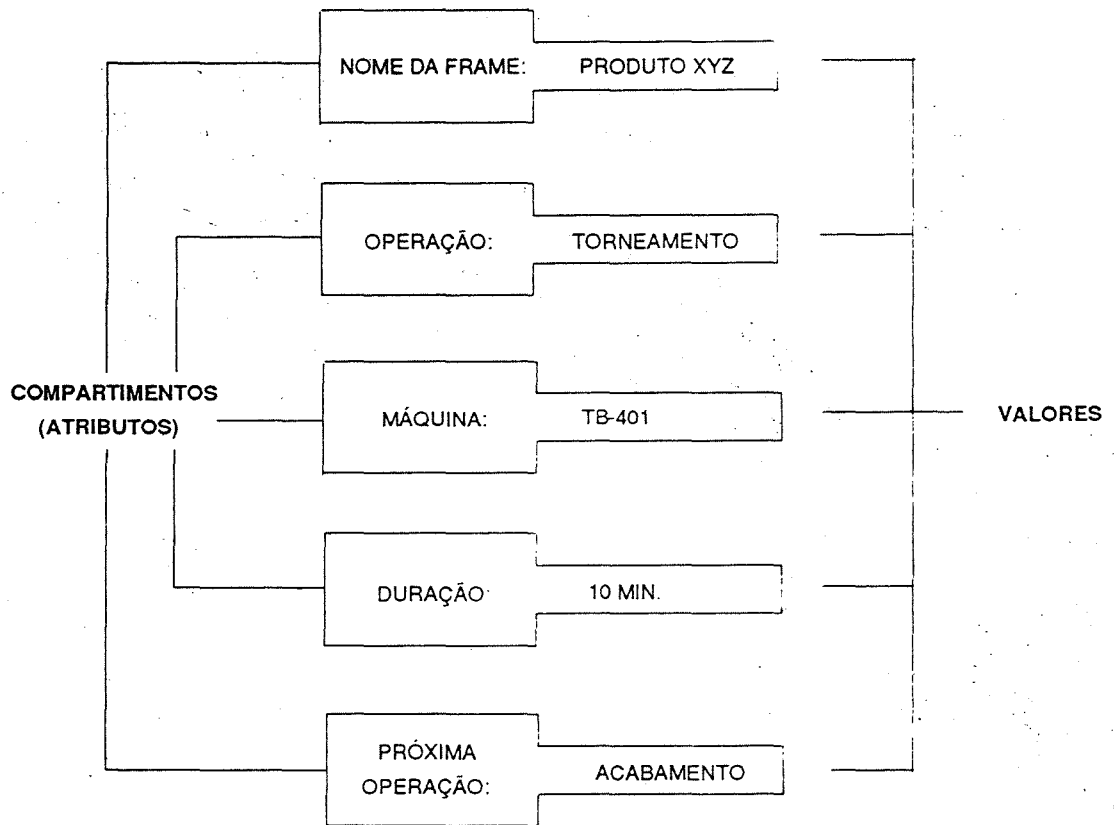


FIGURA 2.3 - Representação através de Frames.

Simplificadamente, a operacionalização dá-se da seguinte maneira, um conjunto de *frames* constituem a base de conhecimento, e essas *frames* são conectadas como uma espécie de rede. Essas ligações têm um significado semântico, de forma a refletir uma hierarquia de classes entre os objetos representados pelas *frames*. Finalmente, um mecanismo de inferência encarrega-se de decidir que *frames* utilizar para uma dada situação.

Além desses três esquemas de representação do conhecimento, pode ser citado o esquema de representação lógica, também chamado de Predicados de Primeira Ordem. Nesse tipo de representação, a descrição do mundo real é feita em termos de cláusulas lógicas, por exemplo, o fato de todos os humanos serem mamíferos pode ser representado da seguinte forma:

$$\forall x, \text{HUMANO}(x) \rightarrow \text{MAMIFERO}(x)$$

Na lógica formal, cada fato só precisa ser representado uma vez, mesmo que seu uso seja repetitivo. Esse esquema apesar de ser facilmente definido e entendido não tem sido utilizado popularmente por apresentar dificuldades no controle das estratégias de busca.

2.2. Máquina de Inferência

Conforme já colocado, em sistemas especialistas, ter o conhecimento (sobre o domínio) separado, torna mais fácil a tarefa de projetar os procedimentos para manipular esse conhecimento. É de fundamental importância, que o sistema além de ter o conhecimento adequado, tenha os meios de utilizá-lo eficientemente.

Assim, para ser eficiente, o sistema especialista deve ter procedimentos de inferência, conhecidos como Mecanismos de Inferência.

O conceito de máquina de inferência normalmente é difícil de ser entendido no primeiro contato com a estrutura (organização) de sistemas especialistas. E relativamente mais fácil entender como o conhecimento sobre o domínio pode ser representado (escrito) como fatos e regras, do que como construir, usar ou mesmo entender como funciona a máquina de inferência, basicamente porque não existe uma maneira geral e simples de caracterizá-la.

A busca pode ser entendida como o processo de transformar uma situação dada (estado normal) em uma situação desejada (estado final), usando um conjunto de operadores. Nesse sentido, o processo para resolver problemas resume-se em encontrar a seqüência de operadores que levem do estado inicial ao estado final.

O processo de derivar conclusões (processo de busca), via alguma estratégia, dentro da base de conhecimento é chamado inferência. Os mecanismos básicos, utilizados nesse processo de geração de conclusões, podem ser: busca heurística; ferramentas analíticas (como programação linear, programação dinâmica, teoria das filas, etc.); raciocínio dirigido às restrições; e raciocínio hierárquico. Em última instância, esses mecanismos são

responsáveis pela busca, poda e organização das informações junto a base de conhecimento.

A combinação ou tipo de mecanismos utilizados e o princípio de raciocínio caracterizam as diferentes abordagens que podem ser dadas à questão da inferência.

As principais possibilidades para estruturar a máquina de inferência são:

- . Encadeamento Progressivo (para frente)
- . Encadeamento Regressivo (para trás)
- . Raciocínio por Hipóteses
- . Orientação para Objetos
- . Outros Recursos (capacidades)
 - Incerteza
 - Cálculos Matemáticos.

As duas estratégias mais populares, e utilizadas com Regras, para orientar a inferência são: o encadeamento progressivo e o encadeamento regressivo.

No sistema de Encadeamento Progressivo, também chamado de orientado para os dados, são fornecidos dados sobre um problema ou uma situação (que podem estar presentes em um banco de dados). Os dados são, então, comparados com a parte condicional (SE) das regras relevantes, para determinar a aplicabilidade da regra à situação atual. Uma regra é, então, selecionada por um interpretador cuja função é decidir o que fazer a seguir (seleção e aplicação de regras e modificação da memória de trabalho adicionando ou deletando fatos). A parte conseqüente da regra (parte-ENTÃO) selecionada atualiza a memória de trabalho fazendo com que a parte condicional de outras regras sejam candidatas a avaliação (aplicação). Este processo continua até que não haja nenhuma regra cuja parte condicional seja satisfeita ou até que uma conclusão tenha sido atingida.

O processo de encadeamento progressivo está esquematizado na figura 2.4.

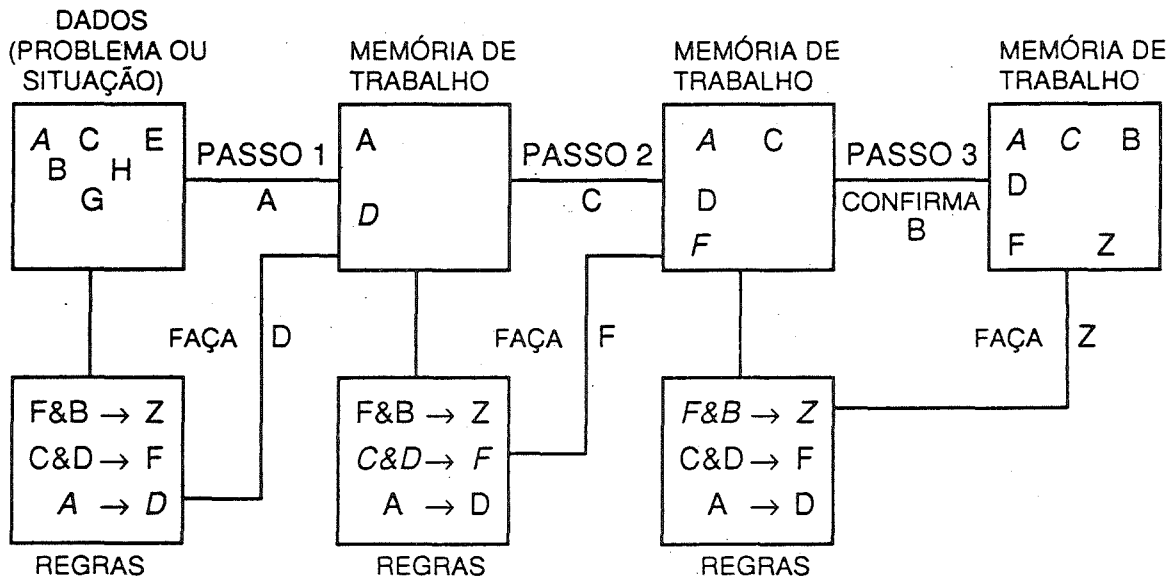
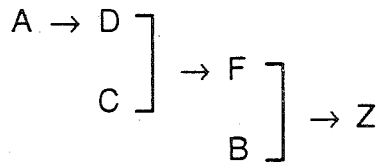


FIGURA 2.4 - Exemplo de Encadeamento Progressivo.

Fonte: (WATERMAN [4]).

A cadeia de inferência produzida pelo exemplo apresentado na figura 2.4 parte do dado A para selecionar a regra cuja parte antecedente (SE) é satisfeita, $A \rightarrow D$, e para identificar a parte conseqüente da regra (ENTÃO), fato D. A seguir, seleciona a regra cuja parte antecedente é satisfeita pelos fatos C e D ($C \& D \rightarrow F$), e assim por diante até atingir a conclusão Z (não há mais nenhuma regra a testar). Esta cadeia de inferência pode ser esquematizada da seguinte forma:



No sistema de Encadeamento Regressivo, para verificar, confirmar um objetivo (conclusão), é escolhida uma regra para avaliação, cuja parte conseqüente (ENTÃO) esteja associada a essa conclusão. Em outras palavras, neste tipo de inferência, o sistema inicia pela regras que têm na parte conseqüente (ENTÃO) o que se quer provar (conclusão). Convém observar que a conclusão não se encontra nos dados sobre o problema ou situação. A seguir, para a regra selecionada, a sua parte antecedente (SE) é identificada, e buscam-se novas regras que tenham na sua parte conseqüente os fatos

identificados na parte antecedente da primeira regra selecionada. Este processo continua recursivamente até que a hipótese estabelecida seja verificada ou até que uma negação seja obtida. O sistema de encadeamento regressivo é orientado pelo objetivo.

No exemplo dado a seguir na figura 2.5, ilustra-se o sistema de inferência baseado no encadeamento regressivo. É estabelecido que a situação Z existe.

A combinação das duas estratégias, encadeamento para frente e para trás, tem-se mostrado útil em certas situações. Já pode ser percebido que a estratégia de inferência a ser adotada depende do tipo de problema que o sistema especialista pretende resolver. Esta questão será retomada oportunamente.

Outra estratégia de inferência é o *raciocínio por hipóteses*, segundo qual suposições devem ser feitas para executar o procedimento de busca. Contudo, durante os passos de busca certas suposições podem ser consideradas inválidas e, conseqüentemente devem ser revistas, remodeladas. Esse raciocínio não-monotônico, ou seja, no qual os fatos ou conclusões devem ser revistos à luz de novas informações, pode ser manipulado de várias formas. Uma abordagem que reduz a dificuldade computacional é carregar (levar) múltiplas soluções em paralelo, cada uma representando uma hipótese, e descartar as impróprias, quando houver alguma evidência.

A *programação orientada para objetos* é uma abordagem construída sobre estruturas (do tipo *frames*) chamadas objetos que contem dados sobre uma dada entidade, e têm também acoplado a elas programas que descrevem como as entidades se relacionam. Essas estruturas são acionadas por mensagens que são enviadas para o objeto a partir de um controlador central ou outro objeto. Esta abordagem é particularmente útil em simulação envolvendo um grupo de objetos distintos e para processamento em tempo real.

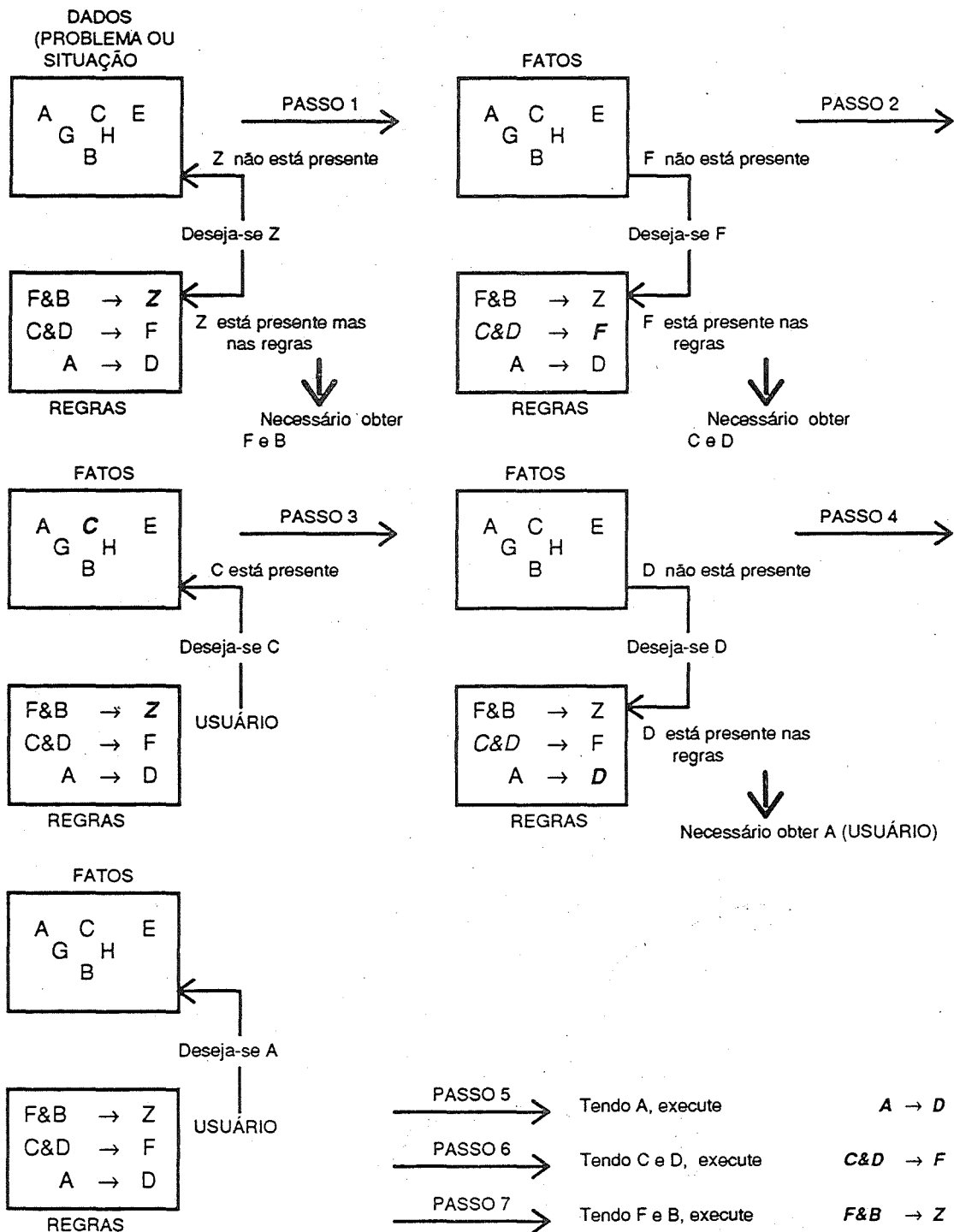


FIGURA 2.5 - Exemplo de Encadeamento Regressivo.

Fonte: (WATERMAN [4])

OBS.: por simplificação, foi suprimido o passo para verificação da presença de B nos dados do problema.

Muito mais poderia ser dito sobre a máquina de inferência, contudo correr-se-ia o risco de se perder de vista o objetivo deste item, que é discutir a estrutura de um sistema especialista.

Para finalizar, podem ser feitas algumas colocações sobre certos recursos adicionais freqüentemente encontrados na máquina de inferência, e que são muito úteis.

Algumas ferramentas permitem a escolha de vários esquemas de inferência ou de procedimentos de busca. Em sistemas construídos com tais ferramentas, existe a possibilidade de se controlar a estratégia de inferência mais indicada a cada situação, ou seja, a escolha é dependente do estado do sistema. O controle sobre essa situação é chamado de meta-controle, que, em resumo, são procedimentos genéricos que indicam ao sistema os próximos passos a serem seguidos permitindo que uma grande quantidade de informações sejam acomodadas, sem que o espaço de busca torne-se explosivo (por ser combinatorial).

Muitas ferramentas para o desenvolvimento de sistemas especialistas têm embutido na máquina de inferência métodos intuitivos ou probabilísticos para lidar com conhecimento inexato ou evidências incompletas. Os fatos e conclusões em um sistema especialista não são sempre do tipo verdadeiro ou falso, algumas vezes existe uma incerteza associada à validade do fato ou acuracidade da regra. Quando esta dúvida é expressa explicitamente, origina-se o fator de certeza. O fator de certeza é um número que mede a certeza ou confiança que se tem sobre a validade de um fato ou uma conclusão.

Existem diversas possibilidades para lidar com incertezas. Uma delas é associar a cada regra um valor que varia de (0) a (1), indicando a certeza que se tem sobre o fato, ou a probabilidade desse fato ocorrer (1) indica certeza absoluta. Quando uma conclusão é atingida, as probabilidades dos fatos que deram origem a ela são combinadas, permitindo que seja feita uma inferência sobre o grau de certeza associado a essa conclusão.

Outra possibilidade é trabalhar com a abordagem de conjuntos nebulosos e lógica nebulosa. (Este assunto pode ser encontrado em DEMPSTER, A.P. (1967), Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping. *Annals Mathl. Statist.* 38(4), 325-339 e em SHAFER, G. (1976), *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, New Jersey). A teoria de Bayes também pode ser utilizada, no caso de se trabalhar com probabilidades.

Finalizando, outro requisito importante é o grau de integração dos vários recursos da máquina de inferência. Por exemplo, é muito útil que exista a possibilidade de se combinar (ou escolher) encadeamento para frente ou para trás, e que existam diferentes formas para estabelecer os fatores de certeza.

2.3. Interface com o Usuário

Uma vez que muitos sistemas especialistas são realmente assistentes inteligentes, a interface com o usuário deve ser projetada de forma a permitir um diálogo interativo. Este diálogo ou os dados de entrada solicitados inicialmente parecem, aos olhos do usuário, arranjos estruturados de dados, incorporado a um menu (de escolhas) composto de perguntas feitas pelo sistema. Essa situação pode passar ao usuário a impressão de um diálogo, orientado para o sistema, muito rígido e restrito, o que pode gerar desconforto ou mesmo falta de compreensão do propósito das solicitações feitas pelo sistema, fazendo com que o usuário perca o interesse pelo uso do programa.

Como a interface com o usuário é o componente do sistema responsável pela comunicação entre o usuário e o sistema, é através dela, também, que se obtém a aceitação do sistema especialista, por parte do usuário. O termo aceitação por parte do usuário implica que o sistema seja amigoso ("user-friendly"), que suas solicitações sejam facilmente entendidas, e que seja possível inquirir o sistema do porquê de certas solicitações, ou pedir que o mesmo explique suas afirmações (conclusões).

A propriedade de ser amistoso e de fácil entendimento pode ser obtida através do uso de processadores de linguagem natural, de recursos gráficos e de recursos de simulação. Além disso, podem estar presentes mecanismos de ajuda ao usuário ("help") que fornecem explicações sobre determinados tópicos, por exemplo, aqueles que compõem o menu ou informações gerais sobre a operacionalização do sistema. Exemplos de demonstração têm-se mostrado de bastante utilidade para o entendimento do sistema.

Em alguns casos, para aumentar a flexibilidade do sistema, aceitam-se respostas múltiplas do usuário, inclusive com a incorporação de fatores de certeza.

Muitas das definições de sistemas especialistas expressam textualmente que o sistema deve ser capaz de justificar suas conclusões. A habilidade do sistema em oferecer algum tipo de explicação é necessária, uma vez que o usuário deve tomar alguma decisão baseada no resultado apresentado, e para que isso aconteça é preciso que ele, usuário, tenha confiança no resultado apresentado. Essa confiança nos resultados e no sistema, é conseguida através de mecanismos que apresentam ao usuário as explicações de como o resultado foi atingido.

Os parâmetros de explicação e justificativa assumem um papel predominante na interface com o usuário, pois eles destinam-se a responder perguntas do tipo:

- COMO? (foi atingido tal resultado) - Justificativa
- POR QUE? (tal informação é necessária) - Explicação.

Os mecanismos de justificativa, quando acionados, exibem uma lista das várias regras e fatos que foram utilizados na cadeia de inferência e que levaram à conclusão. A exigência de transparência implica em que o processo de raciocínio do programa esteja disponível ao usuário, para uma fácil e rápida inspeção.

No que diz respeito à propriedade de explicar porque determinadas informações são necessárias (por que?), o sistema pode exibir as regras que precisam daquela informação. Eventualmente o sistema pode exibir,

conjuntamente, a sua linha de raciocínio indicando onde pretende chegar, isto é, a qual conclusão.

Não é demais reforçar a importância da capacidade do sistema em responder às questões por que? e como?, pois essa capacidade aumenta a confiança do usuário na habilidade do sistema em tomar decisões.

Outra característica que um sistema especialista pode apresentar é a possibilidade do usuário variar o valor de certos parâmetros e observar o efeito no resultado - questões do tipo:

O QUE < Efeito >

SE < Modificação no valor do parâmetro >.

Para facilitar a questão da interface com o usuário, vale a pena lembrar que a tendência dos softwares atuais de eliminar a necessidade de conhecimento de programação, por parte do usuário, reforça a importância dessa interface, principalmente no caso de softwares para sistemas especialistas (shells).

2.4. Linguagens e Integração com outros Softwares

A linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento do sistema especialista tem influência no desempenho operacional do sistema. A linguagem determina, por exemplo, se o sistema especialista é compilável, e de que forma, incremental ou em "batch". A compilação reduz a necessidade de memória e aumenta a velocidade do sistema, e a compilação incremental acelera o desenvolvimento do sistema especialista.

Os sistemas mais sofisticados, falando principalmente em termos de "shells", foram escritos em LISP-linguagem de programação apropriada aos problemas de inteligência artificial - e atualmente estão sendo reprogramados utilizando linguagens mais potentes como C, de modo a reduzir memória, au-

mentar a velocidade de processamento e permitir a compatibilidade com maior variedade de computadores.

Uma forma de estender a esfera de ação de um sistema especialista refere-se à possibilidade do sistema interagir com outros programas externos. Esses programas são considerados externos ao sistema, porque não fazem parte de nenhum de seus componentes. Existem sim, no sistema, mecanismos que possibilitam a sua interação e integração com esses programas. Nessas condições um sistema especialista pode ter acesso a informações que estejam em um banco de dados externo (reduzindo a necessidade de memória), pode interagir com outro pacote como simulação ou programação linear, ou mesmo acessar programas instalados em DBase.

Considerações, ligadas a linguagem de desenvolvimento de sistemas especialistas e a interação com outros softwares, estão sintetizadas na figura 2.6.

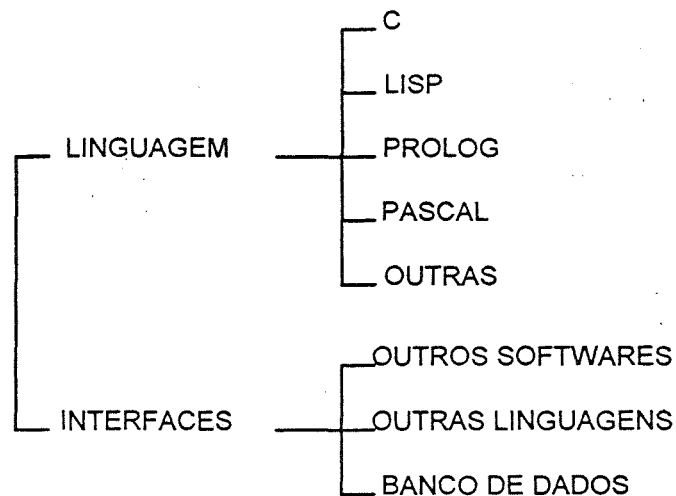


FIGURA 2.6 - Linguagens de Desenvolvimento e Integração.

Poderiam ser feitas também considerações sobre a capacidade e tipo do computador que receberá o sistema especialista, porém tais considerações são importantes no tocante a utilização de shells, assunto que será tratado posteriormente.

3. DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS

O processo de desenvolvimento de um sistema especialista será descrito como sendo composto de cinco fases interagentes e interdependentes, a saber:

- . Identificação do Problema;
- . Análise das Características do Problema;
- . Escolha da Ferramenta de Desenvolvimento;
- . Implementação do Sistema Especialista;
- . Validação e Teste do Sistema Especialista.

O esquema apresentado a seguir, resume o processo de construir um sistema especialista.

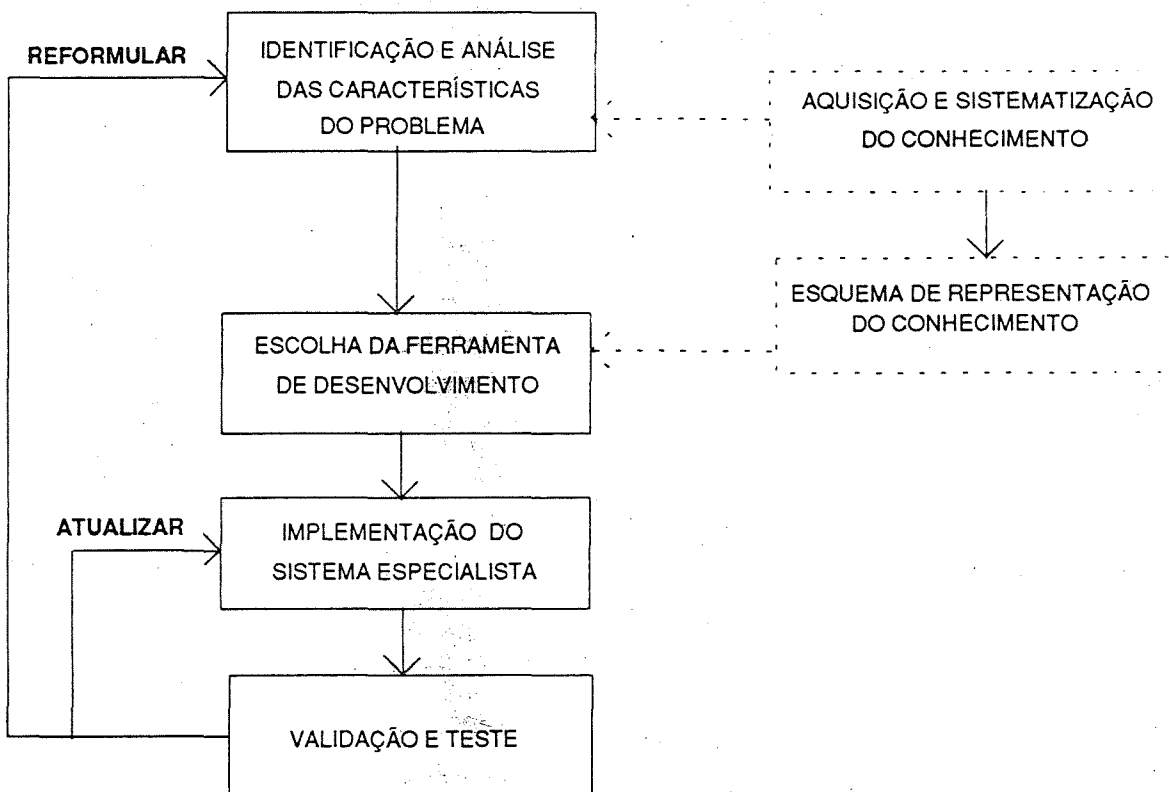


FIGURA 3.1 - Etapas de Desenvolvimento de um S.E.

IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Nesta fase, além de identificação do problema em si (tipo, natureza), deve-se verificar se o problema ou a aplicação é adequado para ser tratado via sistemas especialistas. Neste particular, as colocações feitas anteriormente são úteis.

Além disso, esta fase também compreende a identificação dos recursos necessários - computador, softwares, etc. - e do pessoal que participará do processo de desenvolvimento - incluindo o especialista.

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO PROBLEMA

A primeira decisão a ser tomada refere-se a identificação dos conceitos, objetos, eventos e relações necessários para descrever o processo de solução do problema. Em complemento a essa decisão, deve-se considerar a que nível de detalhe o conhecimento será representado.

Com base nessas informações, que refletem um pouco da estrutura e das características do conhecimento necessário para resolver o problema, deve-se proceder à análise preliminar do esquema de representação mais apropriado, para traduzir essa estrutura (*frames*, regras, redes semânticas, etc.). Nesse momento, é oportuno que se tenha conhecimento prévio sobre as características de cada esquema de representação.

ESCOLHA DA FERRAMENTA DE DESENVOLVIMENTO

Os conceitos, objetos e eventos, e as relações entre eles precisam ser articulados dentro de uma certa estrutura (um modo formal), sintetizada em um programa de computador. Duas estratégias podem ser utilizadas, (i) construir um programa ou (ii) utilizar um software específico (shell) disponível comercialmente.

A construção de um programa requer que sejam projetadas (escritas) as estruturas de dados, os mecanismos de inferência e de controle, a interface com o usuário entre outros, através de uma linguagem específica, que favoreça a integração e a interação dos vários programas e arquivos necessários para o desenvolvimento do sistema.

Por outro lado, a utilização de shells simplifica muito esse processo. Em um shell, software projetado especificamente para o desenvolvimento de sistemas especialistas, todos os formalismos necessários para representação do conhecimento, para a inferência e controle desse conhecimento, e as outras interfaces necessárias já estão projetadas e integradas. Neles, só é preciso instalar o conhecimento sobre o domínio escolhido, segundo o esquema particular de representação (dentre os vários shells existem diferentes esquemas de representação). É claro que, ganha-se em simplicidade e rapidez, mas perde-se em flexibilidade.

Dada a sua importância para o desenvolvimento deste trabalho, este assunto será retomado a seguir, detalhando os shells disponíveis.

VALIDAÇÃO (OU TESTE) DO SISTEMA ESPECIALISTA

Validação refere-se a avaliação do conhecimento, da capacidade de tomada de decisão (desempenho) e da utilidade do protótipo do sistema especialista. Esta é outra etapa crítica no desenvolvimento do sistema. Em termos gerais, a fase de avaliação busca estabelecer o que o sistema conhece, o que ele conhece com incertezas e o que ele não conhece, em outras palavras, a validação assegura a acuracidade e qualidade do sistema como um todo.

A validação de um sistema pode se dar de uma forma incremental, ou seja, conforme evolui o sistema, avaliações parciais vão sendo executadas, de forma que o próprio sistema auxilia o seu desenvolvimento. A outra maneira é validar o sistema a partir do protótipo. Em qualquer situação, várias técnicas podem ser utilizadas para aferir o sistema especialista, as quais serão discutidas com mais detalhes.

Por uma conveniência didática, as etapas de desenvolvimento de um sistema especialista estão agrupadas em duas categorias gerais: Atividades de Planejamento e Atividades de Execução.

As Atividades de Planejamento do sistema especialista compreendem as etapas de Identificação do Problema; de Análise das Características do Problema e a de Escolha da Ferramenta de Desenvolvimento. As Atividades de Execução envolvem as etapas de Implementação e Validação (ou Teste) do sistema especialista.

Dentre as atividades de planejamento, a etapa que envolve a aquisição do conhecimento é apontada na literatura como crítica. Entretanto, poucos artigos discutem a importância da questão da escolha da ferramenta de desenvolvimento, que para este trabalho também assume uma dimensão crítica.

Para as atividades de execução, pode ser apontada como crítica a etapa de validação, assunto que vem merecendo mais atenção, por parte dos pesquisadores.

Face a essas considerações, procurar-se-á aprofundar as considerações iniciais sobre as etapas de escolha da ferramenta de desenvolvimento e de validação de um sistema especialista.

3.1. Considerações sobre as Ferramentas de Desenvolvimento

Sistemas especialistas podem ser desenvolvidos (construídos) através de, pelo menos, duas maneiras distintas, isto é, utilizando ferramentas diferentes. A escolha da ferramenta de desenvolvimento que seja apropriada ao problema a ser resolvido e aos recursos disponíveis (tempo, equipamentos, pessoal, etc.) é um dos fatores críticos para a aplicação prática.

Em termos genéricos, ferramentas para o desenvolvimento são sistemas de programação que viabilizam a construção de sistemas

especialistas. Esses sistemas basicamente podem ser, Linguagens de Programação e Sistemas de Desenvolvimento. As linguagens de programação têm sido usadas para desenvolver sistemas especialistas, enquanto que os sistemas de desenvolvimento são projetados especificamente para a implementação de sistemas especialistas.

Quando uma Linguagem de Programação é utilizada como uma ferramenta de desenvolvimento, ela destina-se ao projeto dos programas que compõem o sistema especialista. Ela propicia grande flexibilidade na definição dos mecanismos de representação do conhecimento, do processo de inferência, dos mecanismos de controle, e da interface com o usuário. Além disso, podem ser acoplados, na máquina de inferência, programas para lidar com fatores de certeza, mecanismos de explicação, etc..A desvantagem em utilizar uma linguagem de programação está associada às questões de tempo, de recursos (pessoal especializado, equipamentos, capital) e esforços necessários para o desenvolvimento de um sistema especialista.

Como já mencionado existem várias linguagens para desenvolver sistemas especialistas. Informações básicas sobre as linguagens de programação podem ser encontradas em várias fontes, WATERMAN [4], por exemplo, oferece uma descrição das várias linguagens de programação, entre outras, C; COMMON LISP; INTERLISP; INTERLISP-D; LISP; PSL; SAIL. Nessa mesma referência, a linguagem PROLOG é categorizada como Linguagem Baseada em Lógica (outras categorias são apresentadas).

Os Sistemas de Desenvolvimento compreendem os softwares específicos para a implementação de sistemas especialistas chamados shell. Nesta categoria também são referenciados softwares de propósito geral, que podem ser usados em diferentes áreas e tipos de problemas. A diferença está no fato de que eles fornecem maior controle sobre o acesso e busca de dados que o fornecido por um shell, porém é mais difícil de ser utilizado.

Algumas empresas ligadas a área de desenvolvimento de softwares para sistemas especialistas têm disponíveis comercialmente versões desenvolvidas a partir dos shells, que são mais gerais e têm maior flexibilidade de utilização (incorporando recursos dos softwares de propósito geral).

Os shells representam um avanço significativo na questão do desenvolvimento de sistemas especialistas, na medida em que eliminam a necessidade de programação e reduzem o tempo e a quantidade de recursos necessários durante a implementação do sistema.

De posse de um shell, o construtor concentra seus esforços basicamente na aquisição do conhecimento (sobre o domínio escolhido) e na forma de articular esse conhecimento para a tomada de decisão (sistematização do processo de decisão). Isto é possível porque um shell é como um sistema especialista do qual tivesse sido retirado o conhecimento específico sobre o domínio (Base de Conhecimento vazia), restando no sistema a máquina de inferência e os recursos de apoio.

Se por um lado um shell pode facilitar o desenvolvimento de um sistema especialista, por outro ele fornece menos flexibilidade que as linguagens de programação. Embora um shell típico não permita alterações significativas na estratégia de inferência, o aspecto crítico de sua falta de flexibilidade está relacionado às limitações na representação do conhecimento. Um shell normalmente é projetado para suportar um esquema de representação do conhecimento. Em certas aplicações pode ser vantajoso utilizar simultaneamente vários esquemas de representação, e isso não sendo possível podem tornar-se necessárias, por parte do construtor, certas adaptações no conhecimento, para superar as limitações impostas pelo esquema de representação do conhecimento inerente ao shell.

Contudo, esta limitação é contornável, uma vez que existem disponíveis comercialmente diversos shells com características de projeto distintas, tanto na estratégia de inferência e esquemas de representação do conhecimento, como na questão de recursos adicionais de apoio ao usuário. Assim, é possível encontrar um shell que se adapte bem às condições impostas pela aplicação ou pelo problema.

Como pode ser observado, as informações sobre os shells disponíveis e suas características de projeto, bem como a clara identificação do

esquema de representação que melhor se adapte ao domínio escolhido, são fundamentais para a escolha dessa ferramenta de desenvolvimento.

A literatura pesquisada aponta uma nova alternativa para a construção de sistemas especialistas. Essa alternativa, que pode ser chamada de Ambientes de Desenvolvimento, oferece diferentes esquemas de representação do conhecimento (além da máquina de inferência) e a possibilidade de integração com outros sistemas computacionais como gerenciador de banco de dados, planilhas eletrônicas, etc. Essas capacidades adicionais podem ser utilizadas, conforme a conveniência, no desenvolvimento de um sistema especialista.

A figura 3.2 procura esquematizar as tendências de evolução percebidas, na literatura pesquisada, para as várias alternativas de desenvolvimento de sistemas especialistas. Esta tentativa não tem a intenção de esgotar todas as alternativas, mas sim de procurar retratar os esforços que vêm sendo realizados, e em qual direção.

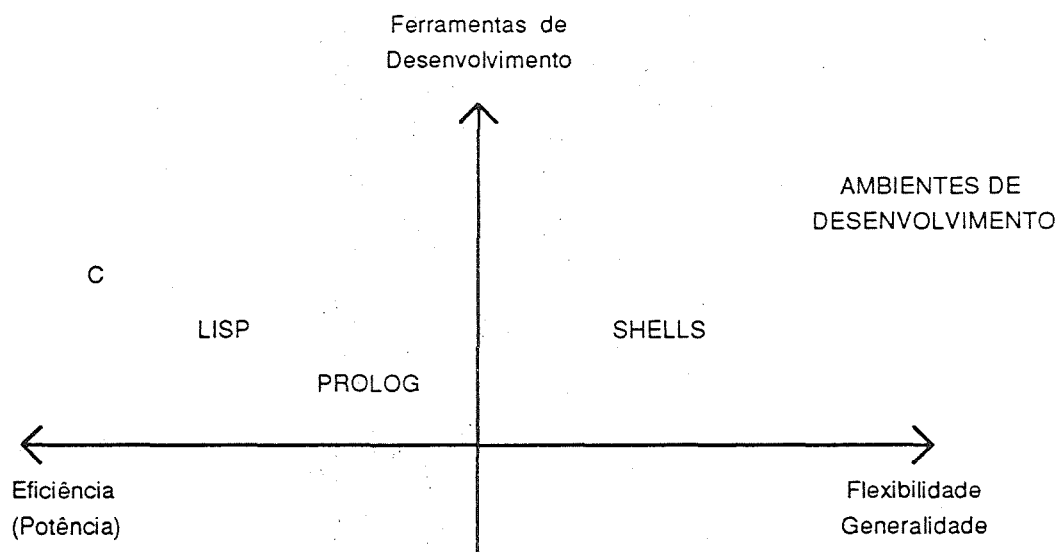


FIGURA 3.2 - Tendências das Ferramentas de Desenvolvimento.

3.2. Quando Usar e Como Selecionar um Shell

Apesar das considerações feitas sobre as linguagens de programação não serem exaustivas e nem profundas, pode-se notar que se a opção para o desenvolvimento de sistemas especialistas recair sobre uma linguagem, escolher uma entre as disponíveis não é uma tarefa difícil, bastam algumas poucas informações sobre as características de cada uma. No mais, é uma questão de saber programar (conhecimento da linguagem) ou recrutar para a equipe alguém que saiba. As diferenças entre uma e outra linguagem referem-se à velocidade de processamento ou espaço de memória, etc.. Um profissional da área de computação, que tenha conhecimento sobre essas linguagens, pode fornecer informações técnicas que orientem a escolha da linguagem a ser adotada. É conveniente notar que as características do problema (ou domínio) têm pouca influência nessa decisão, pois a linguagem será utilizada para projetar um sistema que se adapte às condições do problema (projeto da máquina de inferência, das estratégias de controle, a escolha do esquema de representação do conhecimento, etc.). É a flexibilidade que as linguagens oferecem.

A título de orientação, pode-se dizer que, quando o interesse está voltado para questões de eficiência operacional como memória necessária e tempo de resposta entre outros; quando existe uma equipe trabalhando na área de inteligência artificial (ou mesmo quando existe a possibilidade de se montar uma); ou quando já se tem alguma experiência na área e deseja-se partir para novas pesquisas, o desenvolvimento de um sistema especialista através de uma linguagem de programação parece a alternativa mais interessante.

Contudo, quando se trata de um shell, a questão assume outra dimensão. Em primeiro lugar, é preciso determinar que condições justificam ou apontam para a utilização de um shell e, em segundo lugar, é preciso identificar que parâmetros devem ser analisados para escolher um entre os vários shells disponíveis.

Existem casos em que os interesses para o desenvolvimento de um sistema especialista são ligeiramente, diferentes, daqueles que justificam o emprego de uma linguagem de programação. Nas situações em que a questão da eficiência operacional pode assumir um papel secundário e a ênfase do desenvolvimento está na aquisição do conhecimento, visando a sua disseminação, a utilização de um shell parece a mais indicada.

Essas situações podem ser caracterizadas quando o interesse inicial do desenvolvimento está voltado para construção de um protótipo, onde o objetivo é a absorção da tecnologia de sistemas especialistas e a verificação do potencial de aplicação nas diversas áreas, ou ainda quando a complexidade do problema é tal que supera o tomador de decisão, fazendo com que ele desista de lidar com todos os aspectos de um problema e concentre-se em poucas variáveis. E o caso, por exemplo, da indisponibilidade de recursos (materiais e humanos), da própria dificuldade do problema, ou mesmo da combinação das duas coisas - dificuldades no desenvolvimento técnico e dificuldades na formalização e elucidação do conhecimento.

Outros parâmetros que poderiam ser mencionados dizem respeito ao tempo necessário e ao custo do desenvolvimento de um sistema especialista. Todas as referências consultadas são unânimes em afirmar que o custo do desenvolvimento de um sistema especialista através de shells é muito baixo, quando comparado com a outra alternativa (via linguagens de programação). O tempo necessário para o desenvolvimento é, sem dúvida, muito menor, pois o esforço concentra-se unicamente na instalação da base de conhecimento, segundo procedimentos pré-estabelecidos.

Finalmente, pode ser destacado o fato de que o interesse inicial no desenvolvimento de sistemas especialistas pode residir na construção de um protótipo, como um instrumento de verificação do potencial de aplicação dessa tecnologia. Neste e nos outros casos citados, um software para sistemas especialistas é, sem dúvida, o mais indicado.

Determinadas as condições que apontam para o desenvolvimento através de um software, é preciso selecionar um, entre os vários shells disponíveis comercialmente.

Esse processo de seleção deve ser conduzido de uma forma bastante criteriosa, de modo a minimizar as limitações inerentes dos softwares. Uma vez que os softwares têm pouca flexibilidade, oriunda da concepção de projeto do esquema de representação, da estratégia de inferência e dos recursos adicionais, é preciso determinar para cada aplicação (desenvolvimento específico) qual o conjunto de parâmetros que melhor se aplicam, e verificar qual o software que possui a totalidade ou a maioria deles.

Em termos gerais, os principais parâmetros que influenciam a escolha de um software são:

- . a função de aplicação (tipo de problema),
- . a facilidade de aprendizado,
- . recursos adicionais disponíveis,
- . portabilidade e documentação de suporte.

Dos parâmetros listados, o primeiro, função de aplicação (tipo de problema), talvez seja um dos mais críticos porque depende da clara definição de qual é o melhor esquema para a representação do conhecimento e qual a estratégia de inferência adequada ao problema (aplicação) em questão.

Essa decisão não é simples, pois exige, no mínimo, um conhecimento razoável, ou muita experiência prática no desenvolvimento de sistemas especialistas. Contudo, alguns trabalhos simplificam essa decisão, discutindo, a partir de uma categorização dos tipos de problemas (função de aplicação), a importância de cada um dos atributos do software, principalmente no tocante à forma de representação do conhecimento (que melhor suporte os conceitos, objetos e eventos do problema) e à estratégia de inferência (que melhor represente o processo de solução do problema).

A influência dos demais parâmetros (facilidade de aprendizado, recursos adicionais, portabilidade e documentação de suporte) é mais fácil de ser medida, porque são parâmetros estabelecidos pelo próprio software (características de projeto) porém, são igualmente importantes para a escolha. Neste particular, torna-se interessante um levantamento dos diversos softwares

disponíveis, com a conseqüente identificação dos seus principais atributos. Uma atividade desta natureza será desenvolvida quando da apresentação de um quadro de referência sobre os softwares para sistemas especialistas.

Retomando, a questão da função de aplicação (tipo de problema), será utilizada a categorização proposta por GEVARTER [14] numa tentativa de explorar a relação entre os tipos de aplicação e a importância dos vários atributos que compõem a base de conhecimento e a máquina de inferência, fatores que podem facilitar o desenvolvimento de um sistema especialista.

O quadro 3.1 procura estabelecer as relações possíveis entre os vários atributos que são encontrados em diferentes softwares e que facilitam o desenvolvimento de sistemas especialistas nas diversas categorias de função de aplicação. As células, resultantes do cruzamento do tipo de função com certo atributo, serão preenchidas com (R) quanto o atributo ou recurso for relevante para a aplicação, e com (I) quando o uso for possível, mas não relevante. Assim, uma célula preenchida com a letra R significa que a utilização do atributo é muito vantajosa na construção do sistema especialista para a função de aplicação correspondente.

Ainda sobre a questão de quando utilizar um shell é oportuno citar o artigo de MARTIN & LAW [17], que reforça a importância da escolha do software apropriado para cada tipo de aplicação. Neste artigo, os autores apresentam um sistema especialista desenvolvido para auxiliar o usuário na escolha do shell mais indicado. Esse sistema chamado "Selection of Shell-SOS" foi desenvolvido através de um shell (Crystal-versão 2.1), que interage com o LOTUS 1-2-3.

O sistema especialista SOS inicia auxiliando o usuário a decidir se o uso de um sistema especialista é ou não justificável para a sua aplicação. Para tanto, o SOS exige a identificação do domínio e das tarefas que serão executadas. A partir das informações sobre o problema, o sistema SOS infere o melhor esquema de representação do conhecimento e a estratégia de inferência mais indicada. Uma vez que esses atributos tenham sido selecionados o sistema analisa a questão dos recursos disponíveis, inclusive a experiência prévia do usuário. Em função das características gerais da tarefa e

dos atributos apropriados, o sistema oferece ao usuário como resultado, os cinco shells com maior pontuação. Essa pontuação é feita através de um algoritmo que atribui pontos aos diferentes softwares.

Vale a pena salientar que o sistema SOS utiliza, para a comparação entre a função de aplicação e os atributos relevantes, a estrutura proposta por GEVARTER [14].

ATRIBUTOS	REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO			ESTRATÉGIA DE INFERÊNCIA						OUTROS RECURSOS
	Regras	Redes Semânticas	Frames	Lógica de Predicados	ET	EF	OO	RH	ET,EF	FATORES DE CERTEZA
Classificação e Diagnóstico	R	I	R	I	R	I	I	R	R	R
Interpretação de Dados	I	I	I	I	I	R	I	R	R	R
Projeto e Síntese	R	I	R	I	I	R	I	R	R	I
Assistente Inteligente	I	I	I	I	I	I	I	I	R	I
Predição	I	R	I	I	I	R	I	I	I	I
Planejamento e Programação	I	I	R	I	I	R	I	R	R	I
Monitoramento	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I
Controle	I	R	I	I	I	R	R	I	I	I
Tutorial	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I

LEGENDA:

ET - Encadeamento para trás (Regressivo)

EF - Encadeamento para frente (Progressivo)

OO - Orientação para Objetos

RH - Raciocínio por Hipóteses

R - O atributo (recurso) é relevante para o tipo de aplicação

I - O uso do atributo é possível mas pode ser ineficiente para o tipo de aplicação

QUADRO 3.1 - Relações Práticas entre Atributos e Funções de Aplicação.

Fonte: (GEVARTER [14])

3.3. Considerações Gerais sobre Validação

O termo validação pode ser usado em vários sentidos e para representar diferentes intenções, dependendo da perspectiva de quem o usa. Entretanto, qualquer que seja o significado adotado, é indiscutível que existem diversos fatores a serem considerados quando a questão é validar um sistema ou um modelo.

De um modo geral, a validação de um sistema ou de um modelo tradicional (matemático, por exemplo) não é uma tarefa fácil, pois além da dificuldade natural de compreensão de todos os aspectos e sutilezas de um problema relativamente complexo, existe ainda a possibilidade de que nem todos os fatos relevantes tenham sido identificados, ou não tenham sido corretamente interpretados.

Avaliar um sistema especialista é uma tarefa difícil porque não existe uma maneira formal, sistematizada, de provar que determinada resposta está correta, ou mesmo que seja a melhor escolha entre as possíveis alternativas. A validade de uma resposta, ou do sistema como um todo, depende dos argumentos que a sustentam, o que implica na sua aceitação por parte do usuário (ou do construtor do sistema). O desempenho do sistema, considerado isoladamente, também não é suficiente para validá-lo; respostas precisas para questões que os usuários consideram irrelevantes não serão prestigiadas.

Essas considerações levam à proposição de que, atualmente, o processo de validação de um sistema especialista tem uma conotação muito forte de verificação ou averiguação, seja das suas partes, seja do sistema como um todo. Essa verificação, por sua vez, é **subjetiva** pois depende do conhecimento, experiência e conjunto de valores das pessoas envolvidas na validação de um sistema. Em função dessa subjetividade e da não disponibilidade de métodos tradicionais para validação, defende-se neste trabalho a idéia de que não existem sistemas especialistas válidos ou não válidos, existem sim sistemas especialistas mais ou menos defensáveis (o que obviamente está apoiado nos argumentos que são utilizados). O que torna um sistema mais ou menos defensável são os argumentos utilizados na verificação

dos seus componentes ou na consistência das suas recomendações. Esses argumentos são obtidos direta ou indiretamente através da identificação de quais características do sistema especialista devem ser avaliadas.

Em termos gerais, as características que podem receber uma avaliação formal referem-se a qualidade das decisões do sistema; a adequação do esquema de representação e de inferência; a qualidade da interface com o usuário e a eficiência operacional do sistema. Maiores detalhes sobre essa questão podem ser encontrados em HAYES-ROTH [18] e O'LEARY [19].

Identificadas as características que podem ser avaliadas, o próximo passo deve ser no sentido de estabelecer uma estrutura de referência que direcione esse processo de validação. Uma estrutura possível é aquela que indique os itens a verificar, possibilitando determinar o que examinar. A figura 3.3 ilustra a estrutura a ser adotada.

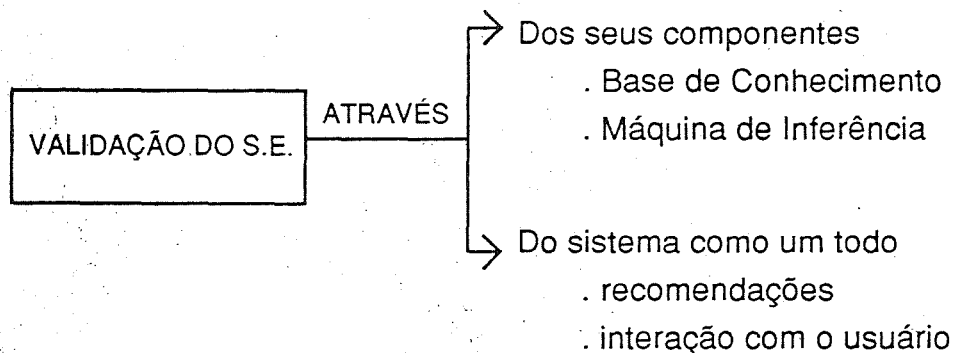


FIGURA 3.3 - Estrutura de Referência para a Validação do S.E.

Identificados os itens a verificar, completa-se o processo de validação determinando o que examinar para cada item. Assim, seguindo o esquema proposto, a validação de um sistema especialista pode ser desenvolvida a partir da análise do desempenho do sistema como um todo, entendendo-o como uma "caixa-preta", ou abrindo essa caixa-preta e analisando seus principais componentes.

4. UM QUADRO DE REFERÊNCIA SOBRE SISTEMAS ESPECIALISTAS

Caracterizado o contexto de sistemas especialistas, em termos de o que é, quando usar, a que classes de problemas se aplica e quais são as etapas de desenvolvimento, é possível estender a análise sobre esse contexto, através da identificação das aplicações realizadas (para que tipo de problema eles têm sido desenvolvidos e utilizados) e da descrição dos softwares disponíveis para sistemas especialistas.

4.1. Aplicações de Sistemas Especialistas

O propósito deste item é apresentar os problemas, nos diferentes campos, que têm sido abordados através de sistemas especialistas. Serviram de fonte para este levantamento todos os artigos pesquisados, incluindo diversos que tratam especificamente de uma certa aplicação realizada, como, por exemplo, os artigos de EVANS & LINDSAY [20]; DAGLI & STACEY [21]; KUSIAK [22]; KUMARA et alii [11]; NOF [23]; KERR & EBSARY [24]; BARTON [7], e os artigos que procuram relacionar diversas aplicações, como os de KUSIAK & CHEN [25]; KUMARA et alii [11]; BADIRU [26]; RAO & LINGARAJ [27]; ARDEKANI & SALCHENBERGER [28], entre outros, bem como os artigos de cunho teórico que procuram discutir a teoria ou apresentar novos pontos de pesquisa.

4.1.1. Interação com a Área de Engenharia de Produção

Uma classificação de particular interesse, refere-se à identificação das aplicações realizadas dentro da área de Engenharia de Produção.

Para o enquadramento dentro das subáreas da Engenharia de Produção, será utilizada a Resolução N^o 10/77 do Conselho Federal de Educação - MEC, de 16 de maio de 1977, que estabelece um elenco de matérias de formação profissional específica (e seus conteúdos) para a habilitação em Engenharia de Produção, como sendo:

- Controle de Qualidade
- Métodos de Pesquisa Operacional
- Estudo de Tempos e Métodos
- Planejamento e Controle de Produção
- Projeto do Produto e da Fábrica.

O quadro 4.1, fornecido a seguir, foi obtido a partir das referências bibliográficas que discutem uma aplicação específica, que descrevem várias aplicações associadas a uma certa área, ou formas particulares de desenvolvimento.

CONTROLE DE QUALIDADE

Dois trabalhos específicos da área de Controle de Qualidade foram relacionados. Um trata da aplicação de sistemas especialistas para a seleção dos Gráficos de Controle, considerando as características da situação (aplicação a que se destina). Essas características dizem respeito aos parâmetros que devem ser utilizados, os valores de cada um e a forma como se combinam (tamanho da amostra, tipos de dados, natureza da amostra, métodos de teste, processo de manufatura entre outros) DAGLI & STACEY [21].

M A T É R I A S P R O F I S S I O N A I S E S P E C I F I C A S	CONTROLE DE QUALIDADE	<ul style="list-style-type: none"> . Controle Estatístico do Processo . Seleção de Gráficos de Controle
	MÉTODOS DE PESQUISA OPERACIONAL	<ul style="list-style-type: none"> . Roteamento de Veículos . Scheduling . Simulação . Programação Linear . Formulação de Modelos de Simulação . Gerenciamento de Projetos
	ESTUDOS DE TEMPOS E MÉTODOS	<hr style="width: 10%; margin: 0 auto;"/>
	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> . Programação da Produção . Modelos de Controle de Estoques (Escolha) . Replanejamento da Produção . Planejamento da Capacidade . Planejamento (Agregado) da Produção . Gerenciamento da Produção (SFM, TG)
	PROJETO DO PRODUTO E DA FÁBRICA	<ul style="list-style-type: none"> . Movimentação de Materiais . Projeto do Produto (Especificações) . Layout

QUADRO 4.1 - Sistemas Especialistas na Engenharia de Produção.

A outra aplicação refere-se à utilização de sistemas especialistas no Controle Estatístico do Processo, para análise de um gráfico de controle, cada vez que uma nova amostra (observação) é retirada. Esse sistema determina as condições que levam a uma possível falta de controle estatístico, analisa padrões de mudança do processo e determina as causas (identificáveis) de situações fora de controle (EVANS & LINDSAY [20]).

Nos dois artigos citados, a aplicação foi desenvolvida a partir de softwares para sistemas especialistas (shell), respectivamente, M-1 e o EXSYS.

Não foram encontradas citações bibliográficas sobre a utilização de sistemas especialistas em aplicações que relacionem a subárea de Controle de Qualidade com outras áreas da organização.

A nível de integração, devem surgir como uma decorrência natural da experiência adquirida, aplicações de sistemas especialistas para auxiliar a decisão de implantação (e eventualmente escolha) de programas de qualidade, tipo Controle Total de Qualidade, Qualidade Assegurada, ou mesmo programas motivacionais.

MÉTODOS DE PESQUISA OPERACIONAL

Nos últimos anos, diversos artigos que discutem a participação da Pesquisa Operacional na Inteligência Artificial/Sistemas Especialistas, e vice-versa, têm sido publicados (O'KEEFE; BELTON; BALL [29]; HENDRY [3]; GRANT [6]; PHELPS [30]; O'KEEFE [31]; DOUKIDIS & PAUL [32]; BARTON [7], entre outros).

Essa participação reflete as possíveis interações e os benefícios mútuos que podem advir da proximidade entre as duas áreas. A figura 4.1 procura explicitar as principais fontes de influência entre Pesquisa Operacional e Sistemas Especialistas.

A Pesquisa Operacional interage com a área de Inteligência Artificial/Sistemas Especialistas fornecendo ferramentas (algoritmos e heurísticas) que podem ser utilizadas na máquina de inferência para proceder a busca de fatos na base de conhecimento e no encadeamento do raciocínio; bem como para auxiliar na modelagem do conhecimento (incompleto ou com incertezas associadas).

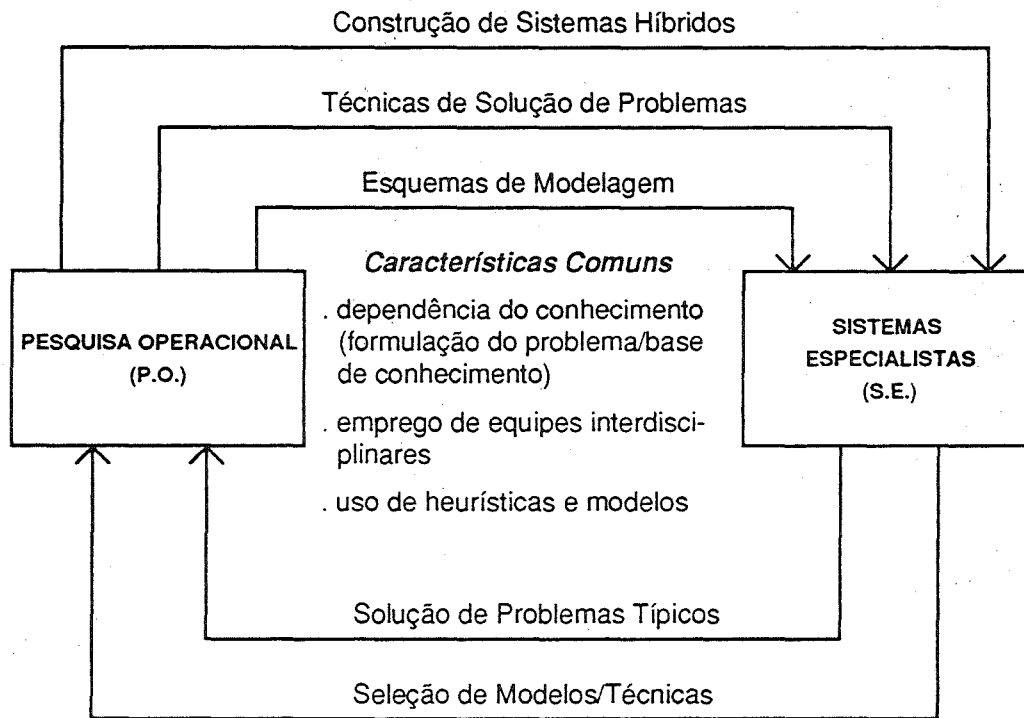


FIGURA 4.1 - Interação entre P.O. e S.E.

Além disso, algumas técnicas (métodos) da Pesquisa Operacional têm sido incorporadas a sistemas especialistas, tornando-os mais poderosos e mais flexíveis permitindo uma vasta gama de aplicações. É o caso de sistemas especialistas que serão chamados "híbridos", em função de terem incorporado a si, ou de poderem interagir externamente com as técnicas da Pesquisa Operacional. Sistemas nessa situação podem interagir com programas de simulação ou de programação linear, por exemplo.

Por outro lado, sistemas especialistas têm sido desenvolvidos para resolver problemas tradicionais (típicos) da Pesquisa Operacional. E o caso dos sistemas voltados para ordenação/seqüenciamento de atividades em máquinas (scheduling), por exemplo:

- . **MASCOT** - que foi aplicado para resolver um problema de programação envolvendo somente máquinas e operações. Datas de início das operações e as restrições que usam recursos comuns são considerados como aspectos importantes do problema. (KUSIAK & CHEN [25]).

. **FIXER (FAULT IDENTIFICATION & EXPEDITING REPAIR)** - um sistema especialista desenvolvido para programar as atividades de manutenção (trabalhos de reparos) nos aviões da R.A.F. (GRANT [6]).

. **ISA** - este sistema foi utilizado para programar pedidos de clientes, classificando a dificuldade do pedido (ordem) em duas categorias: a que sofre restrições de matéria-prima e a que sofre restrições de crédito (RAO & LINGARAJ [27]).

Também é o caso dos sistemas que auxiliam a formulação de modelos de simulação para eventos discretos (DOUKIDIS & PAUL [32]), e do sistema especialista desenvolvido para auxiliar no gerenciamento de projetos, chamado CALISTO (BADIRU [26]), que fornece apoio à tomada de decisão, através da geração interativa de planos para o projeto, programação das atividades (vários níveis), acompanhamento e registro das atividades, geração automática da rede do projeto e comunicação das informações do projeto entre os membros que compõem a equipe.

Outras aplicações podem ser citadas, como os sistemas especialistas desenvolvidos para resolver problemas de simulação (solução técnica específica), ou o sistema especialista AURORA (KUSIAK & CHEN [25]), que através de classes pré-estabelecidas, identifica o padrão do problema (modelo), e, após a configuração, o resolve através de programação linear (neste caso, o sistema se aplica às classes de problemas que podem ser resolvidos por esta técnica).

Cada vez mais, os problemas típicos da P.O. estão sendo abordados por sistemas especialistas. Um fato que reforça essa afirmação é o sistema desenvolvido para o Roteamento de Veículos, onde a participação do sistema especialista dá-se na análise e melhoramento das rotas geradas (por um algoritmo tradicional), uma vez que a base de conhecimento contém a experiência de gerentes de tráfego (DUCHESSI; BELARDO; SEAGLE [33]).

ESTUDO DE TEMPOS E MÉTODOS

Entre os artigos pesquisados, não foi encontrada nenhuma aplicação de sistemas especialistas em termos de Tempos e Métodos. Nem mesmo artigos exploratórios sobre o potencial de aplicação foram detectados. BADIRU [26], ao explorar tópicos específicos de aplicação dentro da "Engenharia Industrial", cita, em particular, a questão de tempos-padrão como tratável por sistemas especialistas.

PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O Planejamento e Controle de Produção - PCP (que compreende as atividades de gerenciamento da produção) e a Pesquisa Operacional são as áreas que registram o maior número relativo de publicações em termos de discussões teóricas exploratórias ou de aplicações.

O PCP, porém, apresenta uma característica distintiva. Recorrendo ao quadro 4.1, pode ser observado o registro de aplicações relativas a problemas de planejamento (fins) e de operacionalização (meios), envolvendo uma ou mais áreas de uma organização ou sistema.

Na categoria de aplicações restritas a uma área e orientadas para a operacionalização, o caso mais significativo refere-se à Programação da Produção. Entre as várias aplicações podem ser destacados os seguintes sistemas, mais expressivos:

- . **ISIS (INTELLIGENT SCHEDULING AND INFORMATION SYSTEM)** - sistema desenvolvido para resolver problemas de programação da produção, no regime de fabricação "JOB-SHOP". Este sistema modela os múltiplos objetivos de uma situação Job-Shop como sendo restrições sobre a programação. Essas restrições são de quatro tipos: as metas organizacionais (que incluem datas de término dos trabalhos, trabalhos em andamento, nível de recursos, custos, nível de produção); as restrições físicas (que máquinas ou equipamentos podem ou não ser usados); as relações de precedência entre as

atividades ou operações; e restrições de preferência (propiciam os meios para expressar restrições) (KUMARA et alii [11]).

- . **OPIS** - a pesquisa com o ISIS levou ao desenvolvimento desse sistema (Opportunistic Scheduler), que se utiliza de programações alternativas (múltiplas) ou decomposições do problema para gerar programações viáveis. Ele explora os benefícios de uma abordagem dinâmica (conflitos controlados) para orientar a decomposição do problema.

- . **OPAL** - esse sistema, elabora a programação da produção de partes/componentes discretos, para fabricação de pequeno e médio porte. Esse sistema, entretanto, não aborda o problema de designação de trabalhos a máquinas. As necessidades de produção devem ser expressas em termos das datas de início mais cedo e das datas compromissadas para entrega. O OPAL engloba três módulos que são monitorados por um controle que orienta o processo de busca. Esses módulos são: (1) um banco de dados contendo a descrição dos setores produtivos, das características do problema de programação (necessidades de produção, datas de entrega, disponibilidade de máquinas, etc.) e o estado atual da programação já acertada; (2) um módulo de análise baseado nas restrições, que calcula a conseqüência das restrições de tempo no seqüenciamento das operações; (3) um módulo de apoio à decisão que aconselha sobre a seqüência de operações a ser adotada, baseado na experiência prática; (4) um módulo de controle que constrói a programação passo-a-passo, de acordo com as decisões dos módulos (2) e (3).

A rigor, esses sistemas não são sistemas especialistas mas sim, sistemas baseados no conhecimento, que não possuem a mesma estrutura de funcionamento.

Referências a sistemas especialistas, vinculados a programação da produção, podem ser encontrados nos artigos de KUSIAK & CHEN [25]; KERR & EBSARY [24]; ASSAD & GOLDEN [16], entre outros.

Na categoria de aplicações orientadas para a operacionalização, que se estendem a várias áreas de uma organização tem-se o SCORE (SHOP-FLOOR CONTINGENCY RESCHEDULING EXPERT) discutido em KUSIAK & CHEN [25], um sistema de Replanejamento da Produção, em tempo real, interfaceando com o sistema M.R.P.. Quando surge uma perturbação em qualquer nível da estrutura do produto, o plano de produção vigente deve ser revisado. O sistema SCORE minimiza o impacto da perturbação e mantém a estabilidade da produção, inclusive no caso de ocorrer algum evento inesperado. Neste caso, o sistema determina o efeito do evento, revisa a programação ao nível onde ocorreu a perturbação, e revisa os níveis superiores de programação quando o impacto não puder ser compensado dentro da programação atual. O impacto de eventos anormais pode ser absorvido através do relaxamento de algumas restrições (tempo, capacidade, etc.).

Na categoria de aplicações específicas a uma determinada área, porém voltadas para a escolha do modelo, ou concepção de um sistema (ou parte dele), RAO & LINGARAJ [27] apresentam um sistema que orienta a escolha de Modelos para Controle de Estoques, em função das características (ou parâmetros básicos) da situação sob análise.

Já foram realizadas aplicações para o Gerenciamento de Sistemas Flexíveis de Manufatura, como indicam os artigos de KUSIAK [22]; YOUNG & ROSSI [34] e para Tecnologia de Grupo (KUSIAK [22]; KUSIAK & CHEN [25]). Os Sistemas Flexíveis de Manufatura e a Tecnologia de Grupo surgem como alternativas de organização e operação dos sistemas produtivos, que ocorrem na interface da atuação profissional da Engenharia de Produção e de outras áreas, como a Engenharia Mecânica.

Outras aplicações de caráter amplo que merecem ser mencionadas dizem respeito ao sistema PATRIARCH (RAO & LINGARAJ [27]) voltado para o Planejamento Agregado da Produção, cujo objetivo é elaborar o planejamento (a vários níveis), a programação e o controle de sistemas produtivos. O PATRIARCH compõe-se de vários módulos "inteligentes" de sistemas de apoio à decisão, entre os quais o módulo de planejamento é um sistema especialista chamado MRP-STAR. A sua operação envolve quatro

níveis de planejamento: previsão de planejamento estratégico; previsão de programação mestre; programação; e controle em tempo real.

Os artigos de RAO & LINGARAJ [27] e de KUSIAK & CHEN [25] referenciam sistemas desenvolvidos para a Administração da Capacidade de sistemas produtivos. Esses sistemas basicamente buscam a solução do problema de capacidade, compatibilizando o plano de produção com estoques e com a disponibilidade dos equipamentos. Os artigos não fornecem outros detalhes sobre a estrutura ou forma de operação dos sistemas.

PROJETO DO PRODUTO E DA FÁBRICA

Nesta subárea encontram-se, referenciados na literatura, sistemas especialistas desenvolvidos em duas categorias básicas: aplicações operacionais (como fazer) e aplicações orientadas para o planejamento (o que fazer).

Nas aplicações específicas encontram-se os sistemas especialistas desenvolvidos para tratar o problema da Movimentação de Materiais, é o caso do sistema CASCADE (KUSIAK & CHEN [25]) projetado para controlar o estoque de produtos em processo. Nesse sistema o princípio básico estabelece que todos os dispositivos de transportes carregam estoques e que todos os estoques devem ser movimentados por esses dispositivos. De acordo com esse princípio, o sistema CASCADE modela a movimentação e armazenagem (local) dos materiais, usando uma estrutura similar a de programação (scheduling) para controlar seus movimentos.

Nesta mesma categoria RAO & LINGARAJ [27] apresentam o sistema XCON que auxilia na Especificação do Projeto do Produto, na produção de todos os principais sistemas DEC (computadores). Esse sistema considera fatores como as restrições de tamanho do cabo, tamanho e layout das caixas (cabines) e exigências de voltagem, para a configuração dos produtos.

Enquadradas como aplicações orientadas para o planejamento e com características integradoras (de várias atividades ou áreas diferentes),

foram encontradas referências sobre sistemas especialistas que abordam a questão de layout nos artigos de RAO & LINGARAJ [27]; TURBAN [8]; KUMARA et alii [11], servem como exemplos:

- . **FADES (Facilities Design Expert System)** - que combina o conhecimento de especialistas com métodos quantitativos. A base de conhecimento consiste de informações sobre especificações das máquinas, demanda dos produtos, análise econômica de investimentos, relações entre as estações de trabalho e de algoritmos para o planejamento do layout. Os problemas são resolvidos através de vários módulos com conhecimentos especializados sobre os diversos aspectos de projeto do layout.

- . **IFLAPS** - é um sistema para análise e planejamento dos equipamentos e recursos associados à questão do layout. Esse sistema considera além do fluxo de materiais outros critérios como segurança, facilidade de trabalho (operários) entre outros.

4.1.2. Perspectivas da Aplicação de S.E.'s na Engenharia de Produção

Pode-se depreender do quadro 4.1 que a grande maioria das aplicações trata da solução de problemas específicos e relativamente bem conhecidos (estruturados). Com exceção do Planejamento e Controle de Produção nas demais áreas a ênfase repousa em aplicações de cunho operacional.

Considerando a recente introdução da tecnologia de sistemas especialistas nas várias áreas do conhecimento, inclusive na Engenharia de Produção, como uma alternativa de solução de determinados problemas, é de se esperar que, até que se atinja a sua plena utilização, alguns estágios sejam superados. Esses estágios caracterizam-se por: (1) pioneiros, apresentam uma tecnologia, através de sua publicação nos meios científicos; (2) há um sentimento coletivo de reserva em aceitá-la, até que algum evento significativo ocorra, que motive os pioneiros e incentive outros; (3) as contingências

favoráveis estimulam a utilização desta tecnologia em vários campos do conhecimento, a princípio em aplicações restritas, (4) a experiência prática e a sedimentação teórica, impulsionadas por novos desenvolvimentos teóricos, motivam a realização de aplicações mais abrangentes e; (5) um estágio, que se manifesta inclusive nos anteriores, de crítica, de conseqüências imprevisíveis.

Através desta proposta de estágios de evolução podem ser realizadas algumas inferências sobre as aplicações de sistemas especialistas na Engenharia de Produção.

Em termos do estágio (2), muitos artigos foram escritos sobre a possibilidade (potencial) de utilização de sistemas especialistas pela Engenharia de Produção, inclusive nas suas subáreas.

Aplicações específicas foram desenvolvidas, a princípio mais modestas, como que verificando o benefício de tal desenvolvimento - consoante com o estágio (3). O sucesso de determinadas aplicações gerou o interesse para outras, abordando uma gama maior de problemas. Até que, a integração de sistemas especialistas com outros programas ou pacotes ampliou a classe de problemas que poderiam ser abordados - estágio (4).

Dentro desse contexto, observa-se no quadro 4.1 que a matéria Planejamento e Controle de Produção evidencia uma passagem por todos esses estágios, trajetória que está sendo seguida por Métodos da Pesquisa Operacional, talvez porque indiquem mais claramente os benefícios ou possibilidades imediatas de aplicação.

As matérias Controle de Qualidade e Projeto do Produto e da Fábrica já manifestam uma movimentação através desses estágios.

Especificamente, Estudo de Tempos e Métodos não iniciou a sua caminhada. Porém, os profissionais que atuam nesta área devem empenhar-se pelo menos em verificar, através da experiência prática, a viabilidade e os benefícios de utilizar a tecnologia de sistemas especialistas, em termos de Produtividade, Análise de Valor, etc.

O quadro 4.1, contudo, não reflete a totalidade das aplicações na Engenharia de Produção, em função da área ter sido discretizada em cinco matérias, e também pelo fato das interfaces que atualmente existem não terem sido consideradas explicitamente, como o gerenciamento da manutenção, para citar um exemplo ou mesmo as aplicações em outras matérias como Organização do Trabalho, Engenharia Econômica, Custos, Higiene e Segurança do Trabalho.

Em termos gerais, as direções viáveis para o desenvolvimento de sistemas especialistas na área de Engenharia de Produção apontam para:

. Atividades de Projeto e/ou Planejamento

Os sistemas especialistas podem contribuir na questão da escolha do modelo e na sua formulação. Um sistema especialista pode auxiliar o usuário na definição ou concepção dos modelos apropriados para o seu problema, identificando as características principais do problema que afetam a escolha do modelo. Características estas que são extraídas da interação entre o sistema e o usuário, como na matéria Projeto do Produto e da Fábrica, onde na questão da Análise de Localização (Macro Localização da Fábrica), vários parâmetros ou fatores conhecidos (a proximidade do mercado consumidor e do fornecedor de matérias-primas, facilidade de transporte, disponibilidade de mão-de-obra, condições do clima, infra-estrutura necessária, incentivos financeiros), influenciam a determinação dos objetivos a serem fixados (econômicos ou não-econômicos). Neste caso, um sistema especialista pode ajudar na seleção do subconjunto de parâmetros relevantes para a modelagem do problema (condições de contorno).

O desenvolvimento de um sistema especialista também pode ser útil na formulação de um modelo. Retomando a questão da Localização da Fábrica, uma vez identificados os parâmetros relevantes, um sistema especialista pode auxiliar na montagem do modelo, identificando as variáveis e o relacionamento entre elas; no estabelecimento do objetivo; ou mesmo indicando o modelo mais apropriado entre os modelos teóricos disponíveis.

Assim como para a matéria Projeto do Produto e da Fábrica foi apontada uma aplicação não referenciada na literatura pesquisada, outras possibilidades podem ser aventadas nas demais matérias, sobre assuntos ainda não explorados.

. Atividades de Operação e Controle

Enquadram-se nesta categoria as aplicações voltadas para a geração de soluções, onde o sistema especialista pode se ocupar da busca de soluções, de seu melhoramento ou da análise das conseqüências de cada alternativa. E o caso, por exemplo, da programação da produção, roteamento de veículos ou da simulação de um modelo. Da interpretação de dados (como na aplicação referente a análise dos gráficos de controle).

Uma outra forma de visualizar as oportunidades de interação entre Sistemas Especialistas e a Engenharia de Produção é a proposição feita por TURBAN [8] que, a partir do papel a ser desempenhado por um sistema especialista, explora o potencial dessa interação. Em termos sintéticos, e com algumas adaptações, podem ser citados os seguintes papéis:

. Sistema Especialista como um Consultor

Neste caso, a consultoria envolve a solução de problemas em áreas que variam do Gerenciamento de Estoques até o Planejamento da Capacidade, envolvendo as seguintes possibilidades:

- . discussão da natureza do problema
 - . identificação e classificação do problema
 - . construção do modelo (variáveis, relações e objetivos)
 - . solução do modelo (métodos quantitativos)
 - . análise de sensibilidade
 - . recomendação de uma solução
 - . implementação da solução
- } diagnóstico

Sistema Especialista como uma Ferramenta de Modelagem

Sistemas especialistas podem ser utilizados para modelar problemas gerenciais complexos, que interagem com sistemas de apoio à decisão. Os sistemas especialistas fornecem uma alternativa para abordar problemas considerados muito complexos para se tentar diretamente a sua otimização. O resultado, naturalmente, é uma boa solução prática. As aplicações iniciais foram feitas na área de simulação e as mais recentes tratam da integração entre sistemas especialistas e sistemas de apoio à decisão, assunto que tem sido alvo de várias publicações.

Sistema Especialista como um Instrutor

Por definição, sistemas especialistas transferem, ou pelo menos pretendem transferir, o conhecimento do especialista para o computador e, portanto, pode ser transferido a um leigo ou a um especialista. Como na relação entre o instrutor (especialista) e os estudantes.

A vantagem principal da utilização de sistemas especialistas no aprendizado ou treinamento, é que ele pode tornar a instrução um processo ativo. Ele também pode ser projetado para se adaptar às necessidades individuais da pessoa que esteja sendo ensinada ou treinada, em termos da terminologia usada, da velocidade de aprendizado, etc., são os Sistemas Tutores Inteligentes.

Outro aspecto ligado à questão de sistemas especialistas como um instrutor, também citado, é a preservação da memória institucional de uma empresa. Em outras palavras, a experiência da empresa passa a não depender mais das pessoas, que podem sair da empresa, aposentar-se, levando consigo parte da história, procedimentos e experiência da mesma.

Finalizando, muitas das aplicações citadas foram concretizadas a partir de softwares para sistemas especialistas chamados shells, que facilitam o processo de desenvolvimento de um sistema especialista. Considerando a contribuição que os shells podem oferecer, simplificando o desenvolvimento de

aplicações na engenharia e possibilitando diversas aplicações, os profissionais da Engenharia de Produção devem envolver-se, cada vez mais, com esta tecnologia. Nesta linha, a seguir são apresentados os vários softwares disponíveis comercialmente e as suas principais características.

4.2. Softwares para o Desenvolvimento de Sistemas Especialistas - SHELLS

Informações sobre os shells disponíveis comercialmente podem ser encontradas em poucas referências.

Nessas referências podem ser encontradas a maioria dos dados sobre os softwares para sistemas especialistas, como, por exemplo:

- . fabricantes
- . contato (endereço e telefone)
- . preço do software e do disquete de demonstração
- . exigências mínimas de hardware
- . esquema de representação do conhecimento
- . estratégia de inferência
- . linguagem utilizada
- . presença de recursos adicionais (fatores de certeza, possibilidade de computação numérica, etc.).

Informações dessa natureza estão muito bem sintetizadas em WATERMAN [4], que também apresenta uma relação dos S.E.'s desenvolvidos nas diversas áreas do conhecimento - Agricultura, Química, Direito, Medicina, Física - bem como um catálogo de ferramentas de desenvolvimento e as empresas engajadas no desenvolvimento de S.E.'s entre outras informações de interesse.

Não é propósito deste trabalho reproduzir tais informações, mas sim apresentar os detalhes estruturais dos diversos softwares, que poderão ser de utilidade na questão da escolha da ferramenta de desenvolvimento de um

sistema especialista. Nesta linha, dois artigos merecem destaque, o de ASSAD & GOLDEN [16] e o de GEVARTER [14].

O primeiro artigo, (ASSAD & GOLDEN), apresenta informações básicas sobre 15 shells (dos 20 disponíveis em 1986), a saber: ADVISOR; ES/P ADVISOR; EXPERT-EASE; EXPERT-EDGE; EXPERT 2; EXSYS; INSIGHT; KDS; KES; M.1; MICROEXPERT; PERSONAL CONSULTANT; REVEAL; TIMM-PC e TOPSI.

Os autores trabalharam com seis desses shells, e a partir dessa experiência estabeleceram uma análise comparativa de alguns pontos fortes e fracos, reproduzida a seguir, com informações da época:

1. EXPERT-EASE

Pontos Fortes:

1. preço moderado (US\$595)
2. extremamente fácil de usar
3. manual do usuário excelente.

Pontos Fracos:

1. não fornece explicações das conclusões
2. não incorpora incertezas
3. valores para os atributos devem ser lógicos ou inteiros
4. não aceita intervalos (ex. $5 \leq x \leq 10$).

2. EXPERT 2

Pontos Fortes:

1. barato (US\$250).

Pontos Fracos:

1. documentação de suporte fraca
2. construção do sistema especialista relativamente difícil.

3. EXSYS

Pontos Fortes:

1. barato (US\$295)
2. bom suporte pós-venda
3. permite a incorporação de incertezas
4. aceita perguntas Por que e Como
5. possibilidade de cálculos numéricos nas regras.

Pontos Fracos:

1. documentação poderia ser melhor.

4. INSIGHT

Pontos Fortes:

1. muito barato (US\$95)
2. boa documentação
3. permite a incorporação de incertezas
4. linha de raciocínio pode ser explicitada (se desejado).

Pontos Fracos:

1. não é possível introduzir cálculos numéricos nas regras
2. não possui um editor de texto interno - um processador externo é necessário para criar as regras e depois então compilar.

5. M.1

Pontos Fortes:

1. documentação compreensível
2. sistemas especialistas de demonstração são fornecidos
3. permite a incorporação de incertezas
4. justifica efetivamente as recomendações e explicita a linha de raciocínio
5. permite que o usuário expresse muitas regras em uma única (regra variável).

Pontos Fracos:

1. caro (US\$10.000 - uso comercial)
2. cálculos numéricos são relativamente limitados
3. base de conhecimento deve ser criada com editor de texto externo (processador).

6. TIMM-PC

Pontos Fortes:

1. fornece uma recomendação mesmo sob conhecimento incompleto
2. permite a incorporação de incertezas.

Pontos Fracos:

1. caro (US\$9.500)
2. não é possível introduzir cálculos numéricos nas regras
3. número limitado de opções de saídas permitidas (escolha de resultados).

Os autores apresentam algumas sugestões que eles mesmos chamam de "tentativas", que apesar de superficiais não deixam de ser significativas porque resultam do uso de alguns softwares e, principalmente, porque entre os artigos pesquisados foi o primeiro do gênero. As conclusões referenciadas pelos autores indicam o EXSYS como um produto muito apropriado para quem deseja aprender sobre ou ter alguma experiência com sistemas especialistas pequenos, pois possui a maioria dos recursos que os shells mais caros têm e não é muito difícil de aprender. Recomendado pelos autores como um dos mais poderosos shells (na época) para sistemas especialistas está o M.1, que apesar de muito caro, apresenta um desconto significativo para fins de pesquisas conduzidos por universidades.

O artigo de GEVARTER [14], por sua vez, abrange um número maior de shells. É mais rico nos detalhes e características e, além disso, apresenta correlações muito interessantes entre as características estruturais dos shells e a sua importância relativa para cada tipo de aplicação (problema).

Fornecer um excelente guia de orientação para a escolha do shell. É por esse motivo, que grande parte das informações deste artigo serão reproduzidas neste trabalho.

Para os dezenove shells relacionados, o autor fornece uma breve descrição (que inclui o endereço do fabricante) e os seus principais atributos. Os shells analisados no artigo são:

ART; KEE; KNOWLEDGE CRAFT; PICON; S.1; ES ENVIRONMENT/VM or MVS; ENVISAGE; KES; M.1; NEXPERT OBJECT; PERSONAL CONSULTANT +; EXSYS 3.0; EXPERT EDGE; ESP ADVISOR (ESP FRAME ENGINE); INSIGHT 2+; TIMM; RULEMASTER 3.0; KDS 3; 1st-CLASS.

Nesse artigo é apresentada uma tabela que relaciona os atributos presentes em cada shell. Os principais atributos indicados são:

- Uso funcional (tipo de aplicação)
- Forma de representação do conhecimento
- Características da Máquina de Inferência
- Interface com o construtor
 - . criação da base de conhecimento
 - . editor da base de conhecimento
 - . recursos gráficos e de simulação
 - . mecanismos de justificativa e explicação
 - . possibilidade de extensão do software.
- Linguagem em que o software foi desenvolvido
- Compilação
- Interface com outros sistemas (linguagens e banco de dados)
- Interfaces com o usuário.

A conclusão aparente do artigo repousa em uma análise comparativa de cada shell, ponderando a sua maior ou menor utilidade funcional face aos principais atributos já citados. A tentativa do autor é indicar a adequação de cada software (shell) para o desenvolvimento das diversas aplicações (relacionando atributo e função). Depois do artigo em questão (datado de maio de 1987), muitos outros softwares surgiram (saíram do estágio

de protótipo) e outros foram aperfeiçoados como é o caso do EXSYS PROFESSIONAL que é uma versão mais potente e mais completa do EXSYS 3.0.

A facilidade de construção de S.E.s através de softwares específicos (shells) é hoje tão reconhecida que em dezembro de 1988, MARTIN & LAW [17] publicaram um artigo descrevendo um sistema especialista, desenvolvido através de um shell (crystal versão 2.1), chamado Selection of Shell (SOS), cuja principal função é auxiliar o usuário a escolher o shell mais apropriado para a aplicação que pretende desenvolver, como já mencionado.

O sistema SOS contém conhecimento específico sobre as seguintes áreas:

- . Regras empíricas sobre as aplicações (problemas) que são apropriadas para o desenvolvimento de sistemas especialistas.
- . Conhecimento sobre os diversos softwares disponíveis no mercado e dos seus pontos fortes e fracos.
- . Conhecimento sobre os recursos necessários e desejáveis para os diferentes tipos de aplicações (problemas a resolver).

Os dois últimos aspectos do conhecimento disponível no SOS são de particular interesse para este trabalho, ou seja, conhecer os shells disponíveis, seus pontos fortes e fracos, e identificar quais atributos (recursos) são mais indicados para cada tipo de aplicação.

Conhecendo as características de cada software, facilmente pode ser feita, a escolha do shell para o tipo de aplicação que se pretende desenvolver.

A questão do tipo de aplicação (funções) e a sua relação com os atributos que são significativos já foi discutida anteriormente. Isto é, uma vez determinada a aplicação, ou função a ser desempenhada, podem ser identificadas, empiricamente, as melhores formas de representação do conhecimento, e as estratégias de inferência mais recomendadas.

Por essa razão, justifica-se o conhecimento dos atributos (recursos) dos principais shells disponíveis comercialmente, ou pelo menos daqueles citados na literatura específica, para verificar quais são adequados para o desenvolvimento de cada tipo de aplicação.

O artigo de GEVARTER [14] será utilizado como fonte para explicitar os atributos de cada um dos 19 shells analisados. A importância desse artigo também pode ser verificada pelo fato de ser a base do artigo de MARTIN & LAW [17].

O quadro 4.2, apresentado a seguir, detalha os principais recursos dos 19 softwares analisados no artigo citado, lembrando que muitos dos softwares analisados já existem em outras versões mais atualizadas e com mais recursos que os apresentados.

Outra discussão sobre a questão das ferramentas de desenvolvimento é cabível neste ponto, focar os Sistemas Especialistas sob a ótica da Tecnologia.

Em termos gerais, o processo tecnológico envolve três estágios fundamentais, conforme ilustra a figura 4.2:

Estágio 1: Conhecimento

Estágio 2: Domínio

Estágio 3: Divulgação

LEGENDA: x = DISPONIVEL, POSSIVEL; — = ATRIBUTO AUSENTE

SHELL	ART 3.0	KEE 3.0	KNOWLEDGE CRAFT	PICON	S.1	ES	EMULSAGE	KES	M.1	NEXPERT
CARACTERISTICAS										
REPRES. CONHECIMENTO:										
REGRAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	—
FRAMES	X	X	X	X	X	—	—	—	—	X
LOGICA	X	X	X	X	X	—	—	—	—	—
ORIENT. OBJETOS	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—
INFERENCIA:										
ENCAD. PARA FRENTE	X	X	X	X	X	X	X	—	X	X
ENCAD. PARA TRAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BLACKBOARD	X	—	—	—	X	X	X	X	X	—
FATORES DE CERTEZA	—	—	—	—	X	X	X	X	X	—
RECURSOS DE DESENVOLVIMENTO:										
CRIACAO DA BASE CONHEC.:										
PROCES. DE TEXTO	X	—	X	—	X	X	X	X	X	—
LINHAS	X	X	X	X	X	X	—	—	X	X
EDITOR	X	X	X	X	X	X	—	—	X	X
MENU	X	X	—	X	X	—	—	—	X	X
VERIFIC. CONSISTENCIA	X	X	—	X	X	—	—	—	X	X
FORMATACAO DE TELA	X	X	X	X	X	X	—	—	X	X
EXPLICACOES:										
PORQUE	X	X	X	—	X	X	X	X	X	X
COMO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
AJUDA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MULTIPLAS RESPOSTAS (E INCERTEZAS)	X	X	—	—	X	—	X	X	X	—
ANALISE O QUE-SE	X	X	X	X	X	X	X	X	—	X
AJUDA ON LINE										
AJUDA ON LINE	X	X	X	—	X	X	X	—	X	X
POSSIB. DE EXPANSAO DO SHELL										
POSSIB. DE EXPANSAO DO SHELL	X	X	X	X	—	—	X	—	—	X
LINGUAGEM DO SHELL										
LINGUAGEM DO SHELL	LISP	LISP	LISP	LISP, C	C	PASCAL	PASCAL	C	C	C
COMPILACAO										
COMPILACAO	INCREMENTAL	INCREMENTAL	INCREMENTAL	X	X	INCREMENTAL	X	X	X	INCREMENTAL
INTERFACES DO SHELL:										
COM OUTRAS LINGUAGENS										
COM OUTRAS LINGUAGENS	—	—	—	—	VARIAS (C)	X	PASCAL	C	X	C, PASCAL
COM BANCO DE DADOS										
COM BANCO DE DADOS	—	—	—	—	—	X	X	X	X	DBASE 3
INTERFACES COM USUARIO:										
EXPLICACOES:										
EXPLICACOES:	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PORQUE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
COMO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
AJUDA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MULTIPLAS RESPOSTAS (E INCERTEZAS)	X	X	—	—	X	—	X	X	X	—
ANALISE O QUE-SE	X	X	X	X	X	X	X	X	—	X

QUADRO 4.1 - Algumas Caracteristicas Basicas dos Diversos Shells.

CONTINUA...

Fonte: (GEVARTER [14]).

CONTINUACAO...

LEGENDA: x = DISPONIVEL, POSSIVEL; — = ATRIBUTO AUSENTE

SHELL	PERSONAL CONSUL.	EXSYS 3.0	EXPERT EDGE	ESP ADVISOR	INSIGHT 2+	TIMM	RULE MASTER	KDS 3	1st CLASS
REPRES. CONHECIMENTO:									
REGRAS	X	X	X	X	X	—	X	—	X
FRAMES	X	—	—	X	—	—	—	X	X
LOGICA	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ORIENT. OBJETOS	—	—	—	—	—	—	—	—	—
INFERENCIA:									
ENCAD. PARA FRENTE	X	X	—	X	X	X	X	X	X
ENCAD. PARA TRAS	X	X	X	X	X	—	X	X	X
BLACKBOARD	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FATORES DE CERTEZA	X	X	X	—	X	X	X	X	X
RECURSOS DE DESENVOLVIMENTO:									
CRIACAO DA BASE CONHEC.:									
PROCES. DE TEXTO	—	X	X	X	—	—	—	—	X
LINHAS	X	X	X	—	X	X	X	X	X
EDITOR	X	X	X	—	X	X	X	X	X
MENU	X	X	X	X	—	X	X	X	X
VERIFIC. CONSISTENCIA	X	X	X	X	X	X	X	X	X
FORMATACAO DE TELA	X	X	X	—	X	X	—	X	X
EXPLICACOES:									
PORQUE	X	X	X	X	X	—	X	X	—
COMO	X	X	X	X	X	X	X	X	X
AJUDA	X	X	X	—	X	X	—	X	—
MULTIPLAS RESPOSTAS (E INCERTEZAS)	X	X	X	—	X	X	—	X	X
ANALISE O QUE-SE	X	X	X	—	X	X	—	X	X
AJUDA ON LINE									
AJUDA ON LINE	X	X	X	X	X	—	X	X	X
POSSIB. DE EXPANSAO DO SHELL									
POSSIB. DE EXPANSAO DO SHELL	X	—	X	X	—	—	X	X	X
LINGUAGEM DO SHELL									
LINGUAGEM DO SHELL	LISP	C	C	PROLOG 2	TURBO PASCAL	FORTRAN	C	8086 ASSEMBLY	PASCAL
COMPILACAO									
COMPILACAO	X	INCRE- MENTAL	X	INCRE- MENTAL	X	X	X	—	X
INTERFACES DO SHELL:									
COM OUTRAS LINGUAGENS									
COM OUTRAS LINGUAGENS	LISP	X	X	—	X	X	VARIAS	PASCAL, BASIC	QUAL- QUER
COM BANCO DE DADOS									
COM BANCO DE DADOS	DBASE 3	X	X	—	DBASE 2	—	X	X	X
INTERFACES COM USUARIO:									
EXPLICACOES:									
PORQUE	X	X	X	X	X	—	X	X	—
COMO	X	X	X	X	X	X	X	X	X
AJUDA	X	X	X	—	X	X	—	X	—
MULTIPLAS RESPOSTAS (E INCERTEZAS)	X	X	X	—	X	X	—	X	—
ANALISE O QUE-SE	X	X	X	—	X	X	—	X	X

QUADRO 4.1 - Algumas Caracteristicas Basicas dos Diversos Shells.

Fonte: (GEVARTER [14]).

O Estágio 1 - Conhecimento da Tecnologia - refere-se ao contato, na literatura especializada, com os conceitos, as idéias, a estrutura e os princípios que dão sustentação à teoria ou área de pesquisa. No caso de Sistemas Especialistas corresponde a:

- (i) identificar os conceitos referentes a Base de Conhecimento, Processos de Inferência, e suas estruturas particulares, e;
- (ii) analisar as formas de desenvolvimento que melhor se adaptem às condições e recursos existentes.

A partir do conhecimento da tecnologia já ocorre o processo (estágio) de divulgação, que pode contemplar aspectos da teoria ou das formas de desenvolvimento.

O estágio 1 é a porta de entrada para o estágio 2, o Domínio da Tecnologia, que se inicia a partir do momento em que os sistemas especialistas passam a ser desenvolvidos, isto é, adquire-se experiência nas diversas etapas envolvidas na construção de um sistema especialista, para algumas aplicações.

Essa experiência manifesta-se na capacidade de análise das várias formas de representação do conhecimento e dos diferentes processos de inferência que podem ser utilizados, bem como na conseqüente identificação dos prós e contras da utilização de cada um desses parâmetros, em uma certa aplicação, ou para diferentes tipos de problemas. Manifesta-se também, através do envolvimento direto na construção de um protótipo, como resultado de um processo acumulado de conhecimento e experiência.

O espírito crítico deve estar presente em todos os momentos da construção de um sistema especialista, uma vez que todas as etapas devem ser criteriosamente analisadas.

Além disso, a experiência adquirida no desenvolvimento e aplicação de sistemas especialistas serve de base para uma discussão mais ampla dos problemas, ou tipos de problemas, passíveis de serem abordados via sistemas especialistas. Outro resultado importante que pode ser esperado

desse estágio é o estabelecimento de uma correlação entre os diversos tipos de problemas e a estrutura do sistema especialista.

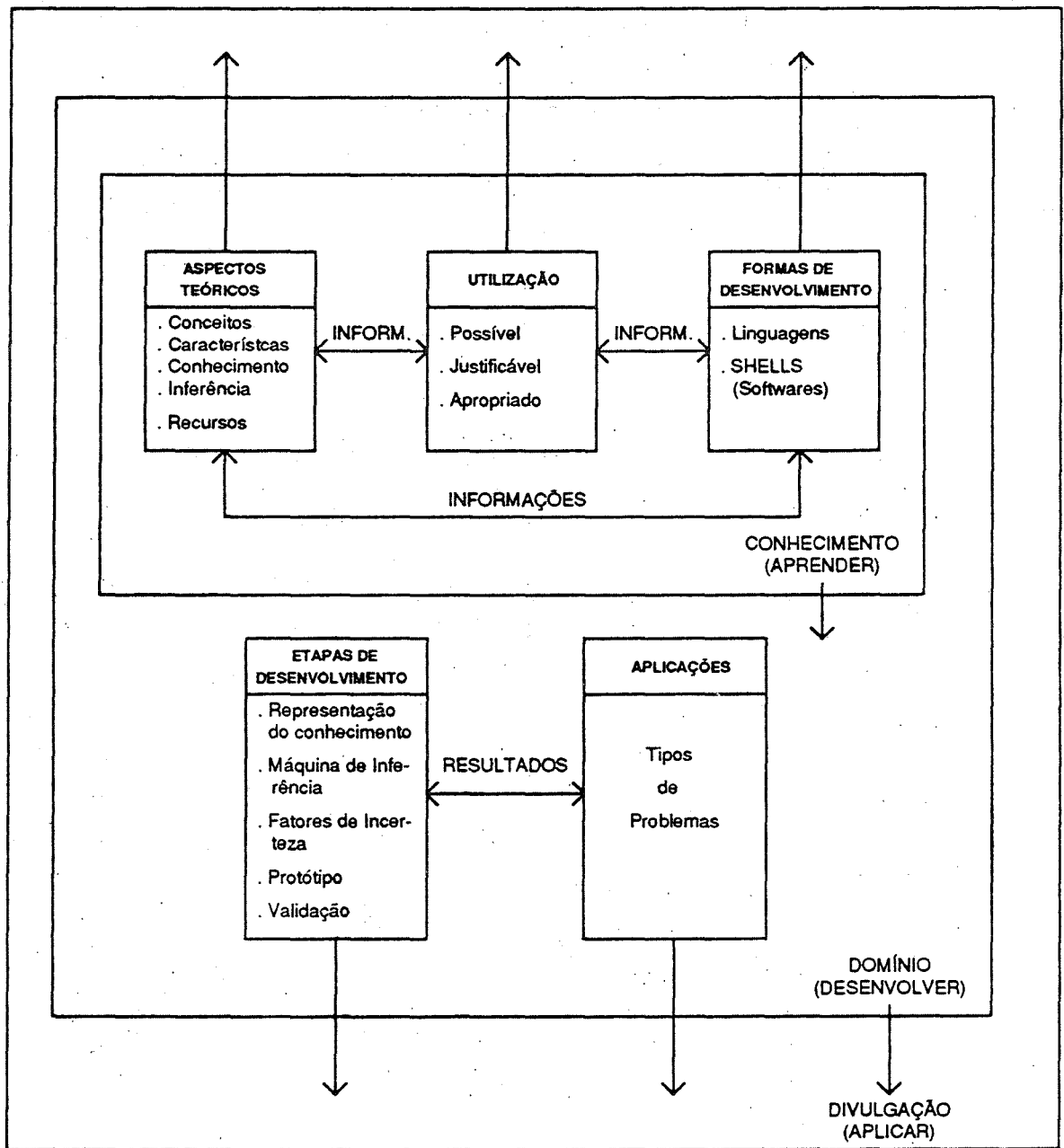


FIGURA 4.2 - Estágios da Tecnologia de Sistemas Especialistas.

Existem centros de pesquisa que já se encontram no estágio 2, alguns desenvolvendo protótipos de sistemas especialistas, outros buscando novas aplicações, novos tipos de problemas a serem resolvidos. Em suma, identificando os limites dentro dos quais os sistemas especialistas podem ser referendados, através dos resultados obtidos para cada tipo de problema.

O estágio 3 decorre como uma extensão natural do domínio da tecnologia. O estágio da Divulgação busca campear a utilização da tecnologia desenvolvida nos diversos campos do conhecimento, rompendo as fronteiras das universidades e centros de pesquisas. Divulgar significa tornar acessíveis resultados e experiências concretas à comunidade em geral, e pressupõe a existência de meios de informação adequados.

Assim, a "maturação" da tecnologia exige uma passagem por todos os estágios, o que nem sempre é possível, devido à avalanche de novas tecnologias que são pesquisadas nos vários países.

Para um país como o Brasil, essa maturação é um problema grave por dois motivos principais. O primeiro, é que a necessidade de atualização faz com que alguns estágios (etapas) sejam queimados, gerando um amadurecimento improdutivo e o abandono precoce de pesquisas por falta de recursos ou obsolescência (por tempo). O segundo motivo, que de alguma forma interage com o primeiro, é a falta de "vocaçao do país", no sentido de selecionar, estabelecer e perseguir linhas de pesquisa apropriadas ao estágio de desenvolvimento e às necessidades do país.

A Engenharia de Produção enquanto uma área do conhecimento também defronta-se com essa problemática. E preciso definir ou estabelecer sua "vocaçao", sua linha de açao e de atuaçao.

Ao nível da tecnologia de sistemas especialistas essa consideração é válida e mais fácil de ser estabelecida. Pela sua própria natureza, a Engenharia de Produção pode ser considerada como sendo mais voltada para a aplicação, com uma preocupação maior na obtenção de resultados e na solução dos problemas que lhe são pertinentes.

Dentro desse contexto, parece natural que a Engenharia de Produção concentre a maioria dos seus esforços no estágio de domínio da tecnologia, aquele referente ao uso da tecnologia em situações reais. Sem que isso signifique que seja possível utilizar uma tecnologia sem conhecê-la. O que se discute é a maior ênfase que deve ser dada a sua utilização.

Uma postura compatível com a aplicação de sistemas especialistas aos problemas típicos da Engenharia de Produção é a utilização de softwares específicos - shells. A facilidade de construção, através desses softwares, pode favorecer a aplicação de sistemas especialistas, uma vez que mais problemas, e dos mais variados tipos, podem ser submetidos a essa tecnologia. Especificamente, essa afirmação equivale a dizer que aplicações podem ser desenvolvidas em áreas ainda não exploradas, como é o caso da matéria Estudo de Tempos e Métodos. Equivale também a identificar as matérias e problemas que apresentam uma relação positiva em termos de CUSTO/BENEFÍCIO. Algumas aplicações são particularmente sensíveis a utilização de sistemas especialistas dentro da Engenharia de Produção, pois exigem um conhecimento especializado e pouco sistematizado.

Além disso, pela grande diversidade de softwares comercialmente disponíveis, um ou alguns terão, com grande probabilidade, os recursos necessários para o desenvolvimento de um S.E., considerando as exigências específicas da aplicação ou do problema.

Outro fato que, de certo modo, reforça esse posicionamento é a enorme velocidade com que a tecnologia se desenvolve, como por exemplo na informática. O mesmo processo ocorre nas "pesquisas de ponta", como é o caso da Inteligência Artificial, Sistemas Especialistas e tantas outras. Nesses casos, a obsolescência tecnológica é muito rápida e, não raramente, o pesquisador é obrigado a abandonar certos conceitos e técnicas que foram superados, apesar de recentes. A obsolescência tecnológica, quando muito rápida, dificulta a maturação da tecnologia, isto é, a passagem pelos três estágios.

Esse quadro torna-se muito complexo na ausência de uma "vocalização" que direcione os esforços de desenvolvimento e aplicação da tecno-

logia. Essa ausência exige do pesquisador um papel polivalente, na medida em que ele fica quase obrigado a absorver as diversas tecnologias que são geradas nos vários centros de pesquisa, para manter-se atualizado. Isso faz com que tecnologias sejam abandonadas prematuramente, às vezes no estágio 1 (conhecimento), apesar de apresentarem potencial de utilização.

Sistemas especialistas não fogem a regra e, portanto, nada mais natural para a Engenharia de Produção, que repousar a ênfase na aplicação e desenvolvimento de sistemas especialistas via softwares específicos, isto é, shells.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RICH, E. Inteligência Artificial. Trad. de VASCONCELLOS, N. São Paulo, McGraw-Hill, 1988. 503p.
2. LEVINE, R.I.; DRANG, D.E.; EDELSON, B. Inteligência artificial e sistemas especialistas. Trad. RATTO, M.C.S.R. São Paulo, McGraw-Hill, 1988. 264p.
3. HENDRY, L.C. The potential impact of artificial intelligence on the practice of O.R.. European Journal of Operational Research, **28(2)**: 218-25, 1987.
4. WATERMAN, D.A. A guide to expert systems. London, Ed. Addison-Wesley, 1986. 419p.
5. BROOKS, H.M. Expert systems and intelligent information retrieval. Information & Processing Management, **23(4)**: 367-82, 1987.
6. GRANT, T.J. Lessons for O.R. from A.I.: a scheduling case study. Journal of the Operational Research Society, **37(1)**: 41-57, 1986.
7. BARTON, A. Experiences in expert systems. Journal of the Operational Research Society, **38(10)**: 965-74, 1987.
8. TURBAN, E. Expert systems - another frontier for industrial engineering. Computers & Industrial Engineering, **10(3)**: 227-38, 1986.
9. MOILY, J.P; MURRAY, T.J.; AGARWAL, R. A preliminary specification of an on-line expert help system. Information & Management, **13(4)**: 191-6, 1987.
10. LIGEZA, A. Expert systems approach to decision support. European Journal of Operational Research, **37(1)**: 100-10, 1988.

11. KUMARA, S.R.T. et alii. Expert systems in industrial engineering. International Journal of Production Research, **24(5)**: 1107-25, 1986.
12. BLANNING, R.W. Management application of expert systems. Information & Management, **7(6)**: 311-16, Dec. 1984.
13. STEFIK, M. et alii. The organization of expert systems, a tutorial. Artificial Intelligence, **18(2)**: 135-73, 1982.
14. GEVARTER, W.B. The nature and evaluation of commercial expert system building tools. Computer, **20(5)**: 24-41, 1987.
15. POLLITZER, E. & JENKINS, J. Expert knowledge, expert systems and commercial interests. Omega, **13(5)**: 407-18, 1985.
16. ASSAD, A.A. & GOLDEN, B.L. Expert systems, microcomputers, and operations research. Computers & Operations Research, **13(2/3)**: 301-21, 1986.
17. MARTIN, A. & LAW, R.K.H. Expert system for selecting expert system shells. Information & Software Technology, **30(10)**: 579-86, Dec. 1988.
18. HAYES-ROTH, F. The knowledge based expert system: a tutorial. Computer, **17(9)**: 11-28, 1984.
19. O'LEARY, D.E. Methods of validating expert systems. Interfaces, **18(6)**: 82-9, 1988.
20. EVANS, J.R. & LINDSAY, W.M. A framework for expert system development in statistical quality control. Computers & Industrial Engineering, **14(3)**: 335-43, 1988.
21. DAGLI C.H. & STACEY, R. A prototype expert system for selecting control charts. International Journal of Production Research, **26(5)**: 987-96, 1988.

22. KUSIAK, A. Artificial intelligence and operations research in flexible manufacturing systems. INFOR, 25(1): 2-12, 1987.
23. NOF, S.Y. An expert systems for planning/replanning programmable facilities. International Journal of Production Research, 22(5): 895-903, 1984.
24. KERR, R.M. & EBSARY, R.V. Implementation of an expert system for production scheduling. European Journal of Operational Research, 33(1): 17-29, 1988.
25. KUSIAK, A. & CHEN, M. Expert systems for planning and scheduling manufacturing systems. European Journal of Operational Research, 34(2): 113-30, 1988.
26. BADIRU, A.B. Expert systems and industrial engineers: a practical guide to a successful partnership. Computers & Industrial Engineering, 14(1): 1-13, 1988.
27. RAO, H.R. & LINGARAJ, B.P. Expert systems in production and operations management: classification and prospects. Interfaces, 18(6): 80-91. Nov./ Dec. 1988.
28. ARDEKANI, M.B. & SALCHENBERGER, L.M. An empirical study of the use of business expert systems. Information & Management, 15: 183-90, 1988.
29. O'KEEFE, R.M.; BELTON, V.; BALL, T. Experiences with using expert systems in O.R.. Journal of the Operational Research Society, 37(7): 657-68, 1986.
30. PHELPS, R.I. Artificial intelligence - an overview of similarities with O.R. Journal of the Operational Research Society, 37(1): 13-20, 1986.

31. O'KEEFE, R.M. Expert systems and operational research - mutual benefits. Journal of the Operational Research Society, **36**(2): 125-9, 1985.
32. DOUKIDIS, G.I. & PAUL, R.J. Research into expert systems to aid simulation model formulation. Journal of the Operational Research Society, **36**(4): 319-25, 1985.
33. DUCHESI, P.; BELARDO, S.; SEAGLE, J.P. Artificial intelligence and the management science practitioner: knowledge enhancements to a decision support system for vehicle routing. Interfaces, **18**(2): 85-93, Mar./Apr. 1988.
34. YOUNG, R.E. & ROSSI, M.A. Toward knowledge based control of flexible manufacturing systems. IIE - Transactions, **20**(1): 36-43, 1988.