

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**SISTEMA ESPECIALISTA PROTÓTIPO
PARA DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM UM
SISTEMA HIDRÁULICO NAVAL**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

GUILHERME DIONIZIO ALVES

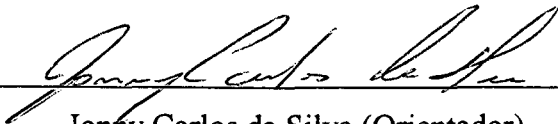
FLORIANÓPOLIS

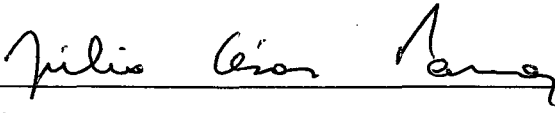
**SISTEMA ESPECIALISTA PROTÓTIPO PARA DIAGNÓSTICO DE FALHAS
EM UM SISTEMA HIDRÁULICO NAVAL**

GUILHERME DIONIZIO ALVES

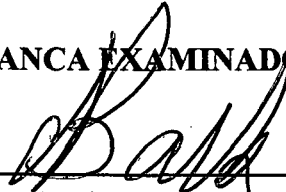
**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE
EM ENGENHARIA MECÂNICA**


**ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA FORMA
FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**


Jonny Carlos da Silva (Orientador)


Júlio Cesar Passos (Coordenador do curso)

BANCA EXAMINADORA


Nelson Back, Ph.D. (Presidente)


Acires Dias, Dr. Eng.


Victor Juliano De Negri, Dr. Eng.

Três pessoas foram especialmente importantes nesta fase da minha vida, e são a elas que agradeço e dedico este trabalho.

Minha mãe, pela lição de vida, fibra, honestidade e dignidade, qualidades nas quais procuro me espelhar em minha caminhada, embora nem sempre consiga.

Minha esposa Liliane, pela paciência em tentar me entender quando nem mesmo eu conseguia, pela atenção e carinho dispensados nesta jornada e também porque ao compreender o meu esforço, abdicou da minha presença em boa parte da nossa estadia em Florianópolis.

Meu filho Leonardo do qual me orgulho e espero ser capaz de transmitir alguns dos princípios e valores que tive o privilégio de receber.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, esposa e filho (novamente).

À Marinha do Brasil pelo financiamento e por permitir o afastamento das minhas funções, o que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao LASHIP (Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos Da Universidade Federal de Santa Catarina) pela infra-estrutura proporcionada.

Ao CF Aroldo Cordeiro Torres e ao CC José Ronaldo Reiser da Silva, respectivamente Comandante e Imediato da Escola de Aprendizes de Marinheiros de Santa Catarina, pelo inestimável apoio durante a minha estadia em Florianópolis.

Ao Prof. Jonny Carlos da Silva pela orientação firme e segura.

Ao Prof. Victor Juliano de Negri pela atenção com que sempre me distinguiu e pela forma dedicada com que passa seus conhecimentos.

Ao Prof. Acires pela amizade, gentileza e a sempre presente disposição para ajudar.

Ao Prof. André Ogliari pela colaboração durante um período especial da pesquisa.

Ao amigo e especialista em hidráulica naval Eduardo Cramer, pela paciência e boa vontade em transmitir seu enorme conhecimento técnico, apesar das minhas limitações.

Aos amigos e grandes conhecedores de manutenção naval Carlos Alberto Martins Liberal e Enio Zanelatto pela ajuda preciosa durante o desenrolar desta empreitada.

Aos amigos Luiz Carlos Delgado, Luiz Fernando Esteves, Marcus Sá, Rogério Felipe e Sérgio Sarquis Attié pelas dicas sempre tão necessárias e precisas.

Ao Eng. Ricardo da Seção de Hidráulica do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro pela rapidez com que atendeu meus pedidos.

Aos especialistas em manutenção naval Machado e Edivar pelo auxílio durante os testes de validação do protótipo e constantes sugestões de melhoramentos .

Aos amigos do LASHIP Edivaldo, Fernando Furst, Fred, Joel, Márcio Castelani, Mauro, Perondi e todos os bolsitas, pela amizade, constante incentivo, troca desinteressada de conhecimento, paciência e exemplos pessoais de dedicação.

"A formulação de um problema é freqüentemente mais importante do que a sua solução, que pode vir a ser uma questão de habilidade matemática ou experimental. Levantar novas e abordar antigas questões por novas perspectivas requer imaginação e é o que realmente representa avanço na ciência."

Albert Einstein, 1938.

SUMÁRIO

1 -	INTRODUÇÃO -	1
1.1	A importância da atividade de manutenção no ciclo de vida do produto	1
1.2	Justificativa e relevância da pesquisa	3
	1.2.1 Origem do trabalho	3
	1.2.2 Sistemas especialistas no contexto da inteligência artificial	4
1.3	Objetivos.....	6
	1.3.1 Objetivo Geral.....	6
	1.3.2 Contribuições.....	6
1.4	Limitações	7
1.5	Metodologia da pesquisa.....	7
1.6	Resultados esperados	8
1.7	Estrutura do trabalho	9
2 -	SISTEMAS ESPECIALISTAS -	10
2.1	A busca por uma máquina inteligente.....	10
2.2	Inteligência artificial e sistemas especialistas	13
2.3	Conceito de sistemas especialistas.....	15
2.4	Estrutura dos sistemas especialistas	18
2.5	Elementos de um sistema especialista.....	19
2.6	Formas de inferência.....	21
	2.6.1 Encadeamento direto (<i>Forward Chaining</i>).....	21
	2.6.2 Encadeamento reverso (<i>Backward Chaining</i>).....	22
2.7	Engenharia de conhecimento	23
2.8	Processo de desenvolvimento.....	26
2.9	Técnicas de representação de conhecimento.....	28
2.10	Vantagens e desvantagens da técnica de sistemas especialistas	32
2.11	Tipos alternativos de abordagem (<i>shallow x deep</i>).....	33
2.12	Os sistemas especialistas como auxílio ao processo de tomada de decisão.....	35
2.13	Aplicações recentes.....	36
	2.13.1 Sistema de Diagnóstico Integrado (<i>Integrated diagnostic system - IDS</i>).....	36

2.13.2	Assistente para diagnóstico de falhas em turbinas (<i>Jet engine troubleshooting assistant - JETA</i>)	38
2.14	Perspectivas futuras e tendências dos sistemas especialistas.....	39
2.15	Considerações finais.....	40
3 -	MANUTENÇÃO NAVAL E SISTEMAS HIDRÁULICOS -.....	42
3.1	Conceitos básicos	42
3.2	Manutenção naval	46
3.2.1	Métricas da manutenção naval.....	50
3.2.1.1	Fatores de confiabilidade.....	50
3.2.1.2	Fatores de manutenibilidade.....	51
3.2.1.3	Fatores de disponibilidade.....	52
3.2.1.4	Fatores humanos.....	53
3.2.1.5	Fatores de suporte logístico.....	53
3.2.1.6	Fatores econômicos	54
3.2.2	A hidráulica no contexto da manutenção naval.....	54
3.3	Manutenção de sistemas hidráulicos	56
3.4	Falha em sistemas hidráulicos.....	57
3.5	Técnicas de análise de falhas	60
3.5.1	Análise do modo e efeito de falhas (<i>FMEA- Failure Mode and Effect Analysis</i>).....	60
3.5.2	Análise de árvore de falhas (<i>FTA- Fault Tree Analysis</i>)	62
3.6	A importância do diagnóstico na manutenção.....	66
3.7	O papel dos sistemas especialistas na manutenção.....	69
4 -	FASES DE DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO SEMaN	71
4.1	Considerações preliminares.....	71
4.2	Projeto conceitual.....	74
4.2.1	Identificação do problema	74
4.2.2	Estudo de viabilidade.....	75
4.2.2.1	Justificativa para a escolha da área de aplicação.....	75
4.2.2.2	A escolha do sistema hidráulico a ser considerado.....	76
4.2.2.3	Definição do público alvo	79

4.2.3	Verificação da disponibilidade de recursos	82
4.2.4	Especificações gerais	83
4.2.4.1	Definição do paradigma de representação de conhecimento	83
4.2.4.2	Escolha do método de inferência.....	87
4.2.4.3	Escolha da ferramenta de desenvolvimento	88
4.2.4.4	Escolha do modelo de desenvolvimento	89
4.3	Formalização do conhecimento.....	91
4.3.1	Extração do conhecimento.....	91
4.3.2	Representação do conhecimento	95
4.4	Implementação computacional	99
4.4.1	Arquitetura funcional do protótipo	99
4.4.1.1	Descrição de funcionamento	100
4.4.2	Estrutura do protótipo.....	101
4.4.2.1	Classes.....	101
4.4.2.2	Regras.....	102
4.4.2.3	Mensagens	104
4.4.2.4	Geração de arquivos HTML de saída.....	105
5 -	VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO -.....	107
5.1	Conceitos iniciais	107
5.2	Qualidade de <i>software</i>	108
5.3	Dificuldades para avaliação de um S.E.	110
5.4	O Processo de verificação e validação	111
5.4.1	Verificação.....	111
5.4.2	Validação	112
5.4.2.1	As métricas utilizadas na validação do protótipo.....	112
5.4.2.2	Os métodos utilizados na validação do protótipo SEMaN.....	114
5.4.2.3	Resultados dos testes de validação	116
5.5	Comentários finais.....	123
6 -	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS -	124
6.1	Preliminares	124

6.2	Questões importantes	124
6.3	Contribuições da pesquisa	126
6.4	Principais tópicos da pesquisa	127
6.5	Recomendações para trabalhos futuros	128
6.6	Comentários finais.....	129
7 -	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -.....	131
Anexo 1 -	138
Anexo 2 -	139
Anexo 3 -	140
Anexo 4 -	141
Anexo 5 -	144
Anexo 6 -	149
Anexo 7 -	150
Anexo 8 -	151

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Versão primitiva do ábaco	10
Figura 2.2 - Difference / Analytical Engine.....	12
Figura 2.3 - Estrutura de um Sistema Especialista	20
Figura 2.4 - Hierarquização do conhecimento	25
Figura 2.5 - Rede Semântica representativa de um sistema hidráulico de governo	30
Figura 2.6 - Exemplo de combinações possíveis de problemas em diagnóstico	38
Figura 2.7 - Tempo de desenvolvimento para alguns projetos de Sistemas Especialistas .	40
Figura 3.1 - Fluxograma da manutenção	44
Figura 3.2 - Planejamento da manutenção.....	47
Figura 3.3 - Tempos de manutenção.....	51
Figura 3.4 - Sistemas hidráulicos típicos de um navio	55
Figura 3.5 - Curva da taxa de falhas.....	58
Figura 3.6 - Padrões variantes de falha	59
Figura 3.7 - Tipo de análise para FMEA	61
Figura 3.8 - Árvore de falhas para falha em válvula direcional.....	63
Figura 3.9 - Símbolos básicos para construção de uma árvore de falhas.....	66
Figura 4.1 - Metodologia utilizada no desenvolvimento do protótipo	72
Figura 4.2 - Detalhamento do projeto conceitual realizado para o protótipo SEMaN	73
Figura 4.3 - Diagrama hidráulico de um típico sistema de governo.....	78
Figura 4.4 - Hierarquia dos sistemas hidráulicos	85
Figura 4.5 - Aplicação do modelo iterativo incremental no desenvolvimento do protótipo SEMaN	90
Figura 4.6 - Diagrama entrada/meio/saída.....	94
Figura 4.7 - Rede de inferência utilizada inicialmente pelo SEMaN.....	96
Figura 4.8 - Árvore de falhas gerada pela rede de inferência para o efeito temperatura excessiva	97
Figura 4.9 - Refinamento da árvore de falhas apresentada na Figura 4.8.....	98
Figura 4.10 - Arquitetura funcional do protótipo.....	99
Figura 4.11 - Diagrama de classes do protótipo SEMaN	102
Figura 4.12 - Grupo de regras.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Alguns Sistemas Especialistas de sucesso	5
Tabela 2.1 - Método Algorítmico x Método Heurístico	17
Tabela 2.2 - Conceitos de Sistemas Especialistas	18
Tabela 2.3 - Diferenças entre programas convencionais e Sistemas Especialistas	24
Tabela 2.4 - Modelo linear de desenvolvimento para S.E.	27
Tabela 4.1 - Saídas previstas para a Etapa Estudo de Viabilidade.....	81
Tabela 4.2 - Saídas para a Etapa Verificação da disponibilidade de recursos.....	82
Tabela 4.3 - Saídas para a Etapa Especificações da ferramenta computacional.....	89
Tabela 5.1 - Métricas de avaliação do protótipo	114

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA _{dm}	– Atraso administrativo
ABNT	– Associação brasileira de normas técnicas
AL	– Atraso logístico
CLIPS	– C Language integrated production system
DO _p	– Disponibilidade operacional
E.C.	– Engenheiro de conhecimento
FMEA	– Failure mode and effect Analysis
FTA	– Fault tree analysis
GPS	– General problem solver
HTML	– Hypertext markup language
IA	– Inteligência artificial
I.D.S	– Integrated diagnostic system
J.E.T.A	– Jet engine troubleshooting assistant
LASHIP	– Laboratório de sistemas hidráulicos e pneumáticos da Universidade Federal de Santa Catarina
NASA	– National aeronautics and space administration
NeDIP	– Núcleo de desenvolvimento integrado de produtos
NRC	– National research council
OMT	– Object modelling technique
OOSE	– Object oriented software engineering
P.M	– Períodos de manutenção
RCM	– Reliability centered maintenance
SE	– Sistemas especialistas
TEP	– Tempo de equipamento parado devido à manutenção
TM	– Tempo de manutenção
T _{med} MC	– Tempo mediano de manutenção corretiva
T _{med} MP	– Tempo mediano de manutenção preventiva
TMEF	– Tempo médio entre falhas
TMEM	– Tempo médio entre manutenções
TMMC	– Tempo médio de manutenção corretiva
TMMP	– Tempo médio de manutenção preventiva
TMPR	– Tempo médio para restabelecer o sistema

- TPM – Total productivity maintenance
UML – Unified modelling language

SIMBOLOGIA E LETRAS GREGAS

- p_1 - pressão na linha de admissão
 p_2 - pressão na linha de descarga
 i - corrente do motor elétrico
I.P.S. - índice de partículas sólidas
 t_f - temperatura do fluido
 λ - taxa de falhas

RESUMO

Este trabalho descreve as principais etapas do processo de desenvolvimento de um sistema especialista para diagnóstico de falhas em um típico sistema naval. O projeto baseia-se no desenvolvimento de um protótipo para demonstrar a viabilidade de se aplicar esta técnica na área de manutenção naval.

A pesquisa inicia com uma exposição sobre os principais conceitos teóricos relativos a sistemas especialistas (S.E.), e, na seqüência caracteriza a atividade de manutenção, as peculiaridades da área naval, o papel da hidráulica e a importância do diagnóstico neste contexto, para em seguida demonstrar como os sistemas especialistas (S.E.) podem ser aproveitados em um cenário tipicamente naval.

Concluída a fundamentação teórica, o trabalho descreve como a informação de projeto é organizada para se produzir um sistema especialista protótipo que possa ser utilizado em uma organização que lida prioritariamente com manutenção naval.

Pode-se dizer que o desenvolvimento da pesquisa permitiu a integração de três áreas distintas de conhecimento: manutenção, hidráulica e sistemas especialistas. Além destas áreas, os conceitos de metodologia de projetos e técnica de modelagem orientada a objetos também foram utilizados no estudo.

Devido ao tipo do conhecimento a ser representado, o fato do mesmo não estar completamente estruturado e tendo em vista a relação de compromisso entre o real objetivo da pesquisa e o pouco tempo disponível para o desenvolvimento do protótipo, foram implementadas apenas um número de funções suficiente para a demonstração da potencialidade da ferramenta computacional no contexto das áreas supracitadas.

ABSTRACT

This study describes the main phases of the development process of an expert system for troubleshooting a typical naval system. The project relies on a prototype development to demonstrate the feasibility of applying this technique in naval maintenance.

The research starts with an explanation of the main theoretical concepts related to expert system (ES), then, it seeks to characterise the maintenance procedure, specificity of the naval area, fluid power role and troubleshooting importance in this context. Finally it also demonstrates how expert systems may be exploited in a typically naval setting.

After the theoretical basis explanation, the study describes how project information is organised to produce an expert system prototype which can be used in an industrial organisation which deals primarily with naval maintenance.

This research allowed the integration of three distinct knowledge fields: maintenance, fluid power and expert systems. In addition, the concepts of engineering design methodology and object oriented modelling techniques were also used in this study.

Owing to the type of emulated knowledge, the fact that it is not completely structured the short available time for the prototype development, only the necessary functions to demonstrate the computational tool potentiality in the context of the above cited areas were implemented.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 A importância da atividade de manutenção no ciclo de vida do produto

O ciclo de vida do produto - o período que vai da identificação das necessidades do usuário na fase de concepção até o descarte (BLANCHARD e FABRYCKY, 1990) - é um conceito de fundamental importância em engenharia. É através do seu entendimento que se consegue definir quais tarefas devem ser executadas nas diversas etapas que compõem este período, bem como introduzir coerência entre estas etapas, de modo a potencializar a satisfação do usuário quando este produto estiver na fase de uso.

Na fase de uso, a necessidade do produto já foi estabelecida e as suas características básicas definidas, e o que se busca é maximizar a utilização deste produto para o consumidor. Esta fase compreende, entre outras atividades, a manutenção.

Em determinados setores industriais, como por exemplo a indústria naval, a influência desta atividade no ciclo de vida aumenta devido à longa vida útil do equipamento e ao alto custo de aquisição, entre outros fatores. Esforços no sentido de aumentar a eficiência da atividade de manutenção são plenamente justificáveis, e o ganho obtido dependerá do peso desta na organização industrial.

A influência cada vez maior do desempenho satisfatório dos equipamentos sobre a produtividade e/ou competitividade das organizações, aliada à necessidade de se estabelecer uma parceria entre os diversos setores da organização industrial, motiva o surgimento e a aplicação de novos métodos e técnicas.

A crescente integração entre as diversas atividades desenvolvidas em uma organização industrial surge da necessidade de se equilibrar a complexidade destas atividades, sejam elas de chão de fábrica, manutenção ou projeto, com as ações requeridas para administrá-las, o que acaba gerando níveis cada vez mais elevados de informatização e automação.

Como resultado deste processo, observa-se a tendência de substituição da manutenção baseada na experiência pela manutenção baseada no conhecimento, através do uso intenso de dados e informações (MATOS, 1999). MOUBRAY (1997) cita como exemplo de perspectiva futura, o desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão.

LACERDA e JÚNIOR (1993) concluem após apresentar dados referentes a um estudo realizado em 19 indústrias de São Paulo que a manutenção industrial em nosso país apresenta espaço para introdução de ferramentas de software e procedimentos automatizados.

GIURLANI apud LACERDA e JÚNIOR (1993), também afirma que sistemas de autodiagnose e de monitoração em máquinas e equipamentos complexos irão facilitar o trabalho da manutenção.

Segundo HALASZ et al. (1992), manutenção de equipamentos complexos é caracterizada por procedimentos estruturados na forma de seqüências de testes e reparos. Grande quantidade de conhecimento encontra-se em manuais fornecidos pelos fabricantes, entretanto, na prática, é necessário experiência para aplicar e adaptar estas instruções ao cotidiano da organização industrial.

Seguindo esta linha de raciocínio, pode-se dizer que os sistemas especialistas (SE) desempenham um papel importante na melhora da eficiência da atividade de manutenção. Aplicações recentes mostram que sistemas de diagnóstico baseados na técnica citada acima não são apenas uma área promissora para a aplicação de Inteligência Artificial (IA), mas também podem ser utilizados com sucesso em situações reais e dar contribuições importantes, como por exemplo:

- facilitar a criação de uma cultura de preservação e consolidação do conhecimento específico de uma organização industrial;
- quebrar a tradicional barreira existente na indústria entre os que operam e aquelas pessoas lotadas no Departamento de Manutenção encarregadas de manter o sistema e;
- facilitar atividades de formação e capacitação.

Existem bons motivos para isto: os especialistas são normalmente bastante técnicos e o conhecimento de diagnóstico é normalmente explícito, o que permite o desenvolvimento de sistemas precisos.

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema especialista protótipo que poderá ser usado tanto por profissionais que trabalham com manutenção de sistemas hidráulicos navais, quanto por aqueles responsáveis pela operação.

Esta ferramenta deve ser capaz de, ao imitar um especialista, diagnosticar as principais falhas de um típico sistema hidráulico naval e dos principais componentes deste sistema. Para cumprir tais objetivos, utiliza informações que são obtidas através de interação com o usuário.

1.2 Justificativa e relevância da pesquisa

1.2.1 Origem do trabalho

Na área naval, a manutenção cumpre um papel de importância vital, pois apesar de todo o desenvolvimento tecnológico que modernizou os navios e os transformaram em uma complexa interação de sistemas, a experiência comprova que durante uma parte significativa da sua vida útil, um navio fica impossibilitado de cumprir a tarefa para o qual foi projetado devido aos serviços de manutenção que nele estão sendo realizados.

A conclusão de um serviço de manutenção no prazo correto e dentro do orçamento previsto envolve um conjunto de decisões que são tomadas nos mais diversos níveis hierárquicos. Quais são as informações corretas, como encontrá-las e como usá-las são algumas das decisões que independente do escalão, fazem parte da rotina diária daqueles que trabalham com manutenção.

O grande desafio em um estaleiro é aplicar a experiência e *know-how* do seu *staff* para maximizar a utilização do navio. Neste ponto, é importante citar que o grupo de manutenção pode ser considerado como um núcleo de conhecimento dentro da organização (ALVES e SILVA, 2001).

A principal questão destas pessoas envolve, na maioria das vezes, o paradoxo que coloca a necessidade de redução de tempo frente à diversidade cada vez maior de equipamentos, ao grande inter-relacionamento de áreas de conhecimento e à grande quantidade de informações dispersas na organização .

A demanda crescente pela diminuição da duração dos períodos de manutenção na área naval trouxe a tona a necessidade de se utilizar novos métodos e técnicas. A importância da decisão que, na maioria das vezes, é tomada em grupo e envolve objetivos e necessidades conflitantes, fez com que as ferramentas de apoio à decisão tivessem um campo prático de aplicação.

O conhecimento utilizado na manutenção de um navio está disperso em várias fontes, sejam pessoas (engenheiros, técnicos) ou literatura técnica (livros técnicos, manuais, catálogos). A diversidade e complexidade destas fontes dificulta a assimilação deste saber por apenas um único indivíduo. Este fato, aliado ao crescente uso do computador na indústria e ao aprimoramento das novas tecnologias, compõe um cenário que justifica a aplicação de técnicas de IA.

1.2.2 Sistemas especialistas no contexto da inteligência artificial

RICH e KNIGHT (1994) apresentam uma definição interessante para o termo IA. Eles afirmam que Inteligência Artificial “é o estudo de como fazer computadores executarem tarefas que no momento pessoas fazem melhor”.

Conforme apresentado por DURKIN (1994), do ponto de vista prático pode-se dizer que o objetivo da IA é tornar os computadores mais úteis. Isto pode ser obtido de várias maneiras:

- produzindo programas que auxiliem o processo de tomada de decisão;
- produzindo programas que auxiliem na busca inteligente de informação ou
- tornando os computadores mais fáceis de serem usados, através do uso de interfaces de linguagem natural.

Dentre as áreas apresentadas, o desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento, como também são conhecidos os SE, causou grande impacto na indústria devido principalmente à valiosa contribuição que deram às organizações que os desenvolveram.

Estes sistemas são programas computacionais projetados para modelar a habilidade de resolução de problemas de um especialista humano através da manipulação de símbolos (DURKIN, 1994). Podem ter diversas aplicações, tais como: projeto de sistemas hidráulicos, diagnóstico de infecções, monitoramento de equipamentos eletro-mecânicos e treinamento, em áreas distintas como: educação, engenharia ou medicina.

Devido ao grande desenvolvimento das tecnologias de *hardware* e *software*, atualmente é possível desenvolver SE complexos em PC's típicos. A Tabela abaixo apresenta alguns exemplos de sistemas especialistas bem sucedidos.

Tabela 1.1 - Alguns sistemas especialistas de sucesso

PROSPECTOR	Sistema desenvolvido para auxiliar geólogos na identificação de formações geológicas que poderiam conter minérios. Desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas de Stanford. O sistema previu com precisão a existência de um depósito multimilionário de Molibdênio (WATERMAN, 1986).
GENAID	Sistema que monitora remotamente em tempo real a condição de geradores elétricos. Foi desenvolvido pela Westinghouse Electric Corporation em parceria com Texas Utilities Company e Carnegie Mellon University (CMU) . Está em operação comercial em vários locais nos EUA (GONZALEZ e DANKEL, 1993).
XCON	Auxilia a configuração de sistemas computacionais VAX . Foi desenvolvido pela DEC em conjunto com CMU. É atualmente usado internamente pela DEC (GONZALEZ e DANKEL, 1993).

Atualmente, qualquer organização industrial, seja pública ou privada, busca a competitividade na sua área de atuação e o caminho, na maioria das vezes, passa pelo aumento de produtividade.

Para vencer o obstáculo de queda de rendimento, causado na maioria das vezes pela quebra da máquina ou do equipamento, e satisfazer as necessidades operacionais de diagnóstico de falhas, várias estratégias podem ser utilizadas e dentre elas, os SE são sem dúvida uma das mais promissoras.

Administrar o conhecimento é uma ação fundamental para o bom desempenho das organizações industriais, em especial daquelas que lidam com manutenção. Fornecer o conhecimento adequado para a pessoa certa no momento oportuno com o formato mais apropriado, mais do que proporcionar serviços executados no prazo acordado, pode tornar-se o diferencial importante em um mercado cuja característica principal é a intensa competitividade.

Utilizar aplicações computacionais para produzir o conhecimento necessário é uma prática que tem desempenhado um papel importante na forma como as organizações operam (BELOHLAV et al., 1997). Entretanto, deve-se buscar compreender de que forma estas ferramentas podem realmente suprir as carências da organização, pois entende-se que é através da integração entre indústria e pesquisa que se consegue encurtar a distância entre as reais necessidades e o que as novas tecnologias podem oferecer.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo central deste trabalho de pesquisa é demonstrar a viabilidade do uso da técnica de SE na área naval. Para alcançá-lo, será desenvolvido um sistema especialista protótipo para diagnóstico de falhas em um típico sistema naval. Nos próximos capítulos serão apresentadas com maiores detalhes as razões que justificam a escolha da área citada para o desenvolvimento da pesquisa.

Devido ao tipo do conhecimento a ser representado, o fato de o mesmo não estar completamente estruturado e tendo em vista a relação de compromisso entre o real objetivo da pesquisa e o pouco tempo disponível para o desenvolvimento do protótipo, são geradas apenas um número de funções suficiente para a demonstração da potencialidade da ferramenta computacional no contexto das áreas de manutenção naval e de IA.

Para que o processo seja claro, estruturado e para que contribuições tecnológicas reais sejam obtidas, o sistema especialista protótipo desenvolvido é submetido à validação. Pretende-se com isso colher subsídios importantes tanto para melhoramentos, como para trabalhos futuros.

A documentação do processo de desenvolvimento estará distribuída ao longo da dissertação.

1.3.2 Contribuições

Algumas das contribuições que se espera obter com o desenvolvimento do protótipo estão apresentados abaixo:

- aumentar a eficiência do processo de manutenção, na medida que recupera e disponibiliza informações;

- documentar o conhecimento de uma área (hidráulica naval) e
- facilitar a transferência de tecnologia entre instituições.

1.4 Limitações

A abordagem utilizada neste trabalho é desenvolver um sistema especialista protótipo baseado em regras e que utilize técnicas de modelagem orientadas a objetos de forma a simular tanto o processo de inferência utilizado por especialistas humanos, como o contido em manuais técnicos de detecção de falhas. Esta abordagem, entretanto, não incorpora dados históricos de falhas nem técnicas de inferência estatísticas como parte do processo de resolução do problema.

A fundamentação teórica que justifica as opções citadas acima, bem como os conceitos relativos ao entendimento do tema SE, serão apresentados com maiores detalhes no capítulo 2.

Em função da escolha da ferramenta de desenvolvimento e considerando o objetivo principal da pesquisa, a interface com o usuário estará limitada a textos.

Uma possível deficiência que pode advir da dificuldade de se obter do(s) especialista(s) humano(s) a explicitação do seu método de inferência é o enfraquecimento da base de conhecimento do sistema. Este ponto é uma das muitas dificuldades que os desenvolvedores de SE se defrontam.

1.5 Metodologia da pesquisa

Este projeto fundamenta-se em dois pilares principais: o modelo iterativo incremental e a fundamentação teórica sobre desenvolvimento de SE exposta nos diversos estudos publicados sobre o assunto.

O modelo incremental pode ser aplicado tanto no desenvolvimento de sistemas especialistas como em *software* convencionais. Este paradigma baseia-se no princípio de crescimento gradativo, em que problemas complexos não são resolvidos de uma única vez, mas sim através de sucessivas iterações. A idéia básica é desenvolver o sistema em incrementos, ou seja, a medida que capacidades funcionais sejam inseridas, são feitas verificações para checar se os resultados são os esperados. Esta abordagem traz como principal vantagem a redução da possibilidade de insucesso.

O desenvolvimento de SE pode ser dividido em quatro etapas principais: aquisição de conhecimento, representação, implementação e validação. É importante ressaltar que, embora estas etapas estejam sendo citadas seqüencialmente, o modelo escolhido para o desenvolvimento iterativo incremental implica na ocorrência quase que simultânea das mesmas.

A aquisição de conhecimento inicia com a investigação das fontes de conhecimento relacionadas com o problema em questão, sejam livros ou pessoas e finda com a exploração destas fontes. Na fase de representação são criadas estruturas que possam reproduzir o conhecimento adquirido na fase anterior de tal forma que este conhecimento possa ser codificado computacionalmente na fase de implementação. A fase de validação que normalmente é feita por futuros usuários do sistema engloba também a verificação, que é feita por quem elabora o código fonte.

Em função do perfil teórico adquirido, são também utilizados no projeto conceitos da metodologia de desenvolvimento de produtos que vem sendo implementada pelo Núcleo de desenvolvimento integrado de produtos (NeDIP), laboratório de pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina. Dentro desta filosofia, o protótipo é considerado o produto a ser desenvolvido.

1.6 Resultados esperados

Espera-se que os resultados obtidos no processo de validação sejam suficientes para confirmar as expectativas positivas relativas à potencialidade da ferramenta.

No que diz respeito especificamente ao sistema, tem-se como meta chegar aos pontos abaixo:

- boa usabilidade, ou em outras palavras, facilidade de operação;
- precisão para fazer o que foi proposto de maneira adequada;
- modularidade para permitir que acréscimos posteriores venham a ser feitos com o mínimo de dificuldades possível;
- robustez e
- capacidade de apresentar diagramas esquemáticos e/ou relatórios técnicos em arquivos HTML de forma a usufruir os benefícios da grande utilização tanto da Internet, como de redes internas, Intranet .

1.7 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos, tendo início no capítulo 1 onde são mostradas as linhas gerais que direcionam a pesquisa. Tendo em vista os objetivos do projeto, surge a necessidade de apresentar os conceitos relativos a SE e engenharia de conhecimento, que são objeto de discussão do capítulo 2.

O capítulo 3 busca caracterizar a atividade de manutenção, as peculiaridades da área naval e o papel da hidráulica neste contexto. Apresenta também a importância do diagnóstico e as principais técnicas de análise de falha. Por fim, demonstra como os SE podem ser aproveitados em um cenário como estes.

O capítulo 4 descreve de maneira crítica como ocorreram as principais etapas do processo de desenvolvimento do protótipo, apresentando algumas considerações que podem levar a erros e/ou acertos. O principal objetivo deste capítulo é, além de descrever como foi o processo de desenvolvimento, fornecer subsídios para trabalhos posteriores nesta área.

No capítulo 5 é apresentado ao leitor o processo de validação.

O capítulo 6 apresenta discussões sobre as principais questões apresentadas no trabalho e algumas recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS ESPECIALISTAS

2.1 A busca por uma máquina inteligente

Os pontos apresentados nas duas primeiras seções deste capítulo representam marcos na evolução histórica da incessante busca do Homem por máquinas que possam ser consideradas inteligentes. A apresentação dos mesmos faz-se necessária tanto pela importância que têm para a comunidade de pesquisadores em IA, como também para o pleno entendimento deste trabalho por estudiosos de outras áreas.

Segundo BITTENCOURT (1998), “uma parte importante de uma “inteligência artificial” é o substrato físico no qual esta se materializará. No caso da IA este substrato é um computador digital”.

Embora nos dias de hoje ainda não seja possível chegar a um consenso sobre o que é inteligência, pode-se dizer que a procura por uma máquina que apresente tal comportamento não é nova. Segundo apresentado por ZUCHI (2000), no Oriente Médio, desde 2500 a.C. já existia uma versão primitiva do ábaco (Figura 2.1), considerado um dos primeiros dispositivos computacionais. Este dispositivo era composto de uma armação e diversos fios de arame. Em cada um desses arames corriam sete bolas, sendo que cinco ficavam abaixo de uma barra horizontal divisória e duas acima. Cada arame correspondia às posições dos dígitos num número decimal: unidades, dezenas e centenas. As bolas representavam os dígitos; as que estavam acima da barra horizontal valiam cinco e as que estão abaixo valiam uma unidade.

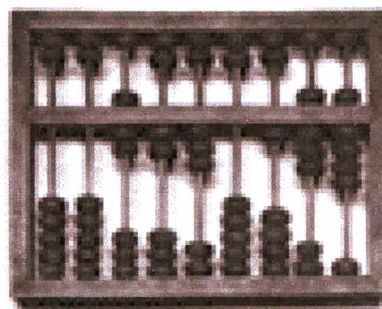


Figura 2.1- Versão primitiva do ábaco

Esta busca por máquinas inteligentes vem sendo motivada tanto pelos benefícios práticos que podem ser obtidos com a descoberta, como também pelo desafio que a tarefa representa.

Os esforços despendidos começaram efetivamente a se materializar quando ocorreram as criações das primeiras máquinas de calcular e acabaram resultando na idéia de desenvolver o computador. Embora a idéia não seja nova, a conotação que esta palavra tem nos dias de hoje é relativamente recente, pois somente em 1960 surgiu o termo computador digital, em oposição ao termo computador analógico (TURING, <http://www.turing.org.uk/turing/scrapbook/computer.html>).

Com o passar dos anos houve uma expressiva mudança de conceitos. Computador, que significava inicialmente apenas uma pessoa fazendo cálculos, evoluiu para computador automático e somente nos dias de hoje incorpora o conceito de programa armazenado. Segundo BARRETO apud ZUCHI (2000), “computador é talvez a mais aperfeiçoada ferramenta que o ser humano já construiu para ampliar as suas capacidades intelectuais e cuja vocação é o armazenamento e manipulação de informações, informações do mesmo tipo que devem ser passadas de um ser humano a outro”.

Pode-se dizer que o primeiro ancestral do computador moderno nasceu por volta de 1832, do sonho de Charles Babbage, à época Professor da Universidade de Cambridge.

Inspirado em teares, Charles Babbage projetou os dois mais modernos dispositivos de cálculo até então, Máquina Diferencial (*Difference Engine*) e Máquina Analítica (*Analytical Engine*). O primeiro foi parcialmente construído e o segundo não saiu do papel. Embora as suas idéias fossem semelhantes às que possibilitariam mais tarde a construção do computador digital e o feito pudesse ser considerado notável para a engenharia da época, Charles Babbage não conseguiu escapar das críticas (TURING, 1950).

A construção da Máquina Diferencial (*Difference Engine*), apresentada na Figura 2.2 foi concluída em 1991 e atualmente está em exposição no Museu da Ciência em Londres. Hoje, além de ser considerado um ícone na história dos computadores, o princípio adotado é tratado como uma possível alternativa para o fraco desempenho dos atuais computadores eletrônicos quando submetidos a condições anormais, tais como: temperaturas elevadas e presença de radiação.

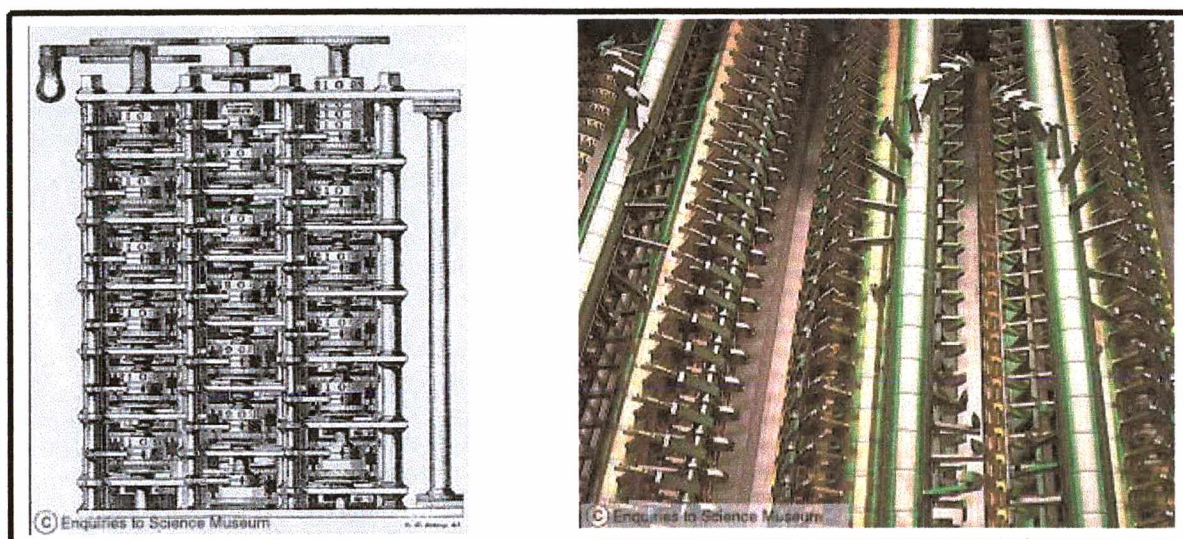
**Máquina Diferencial****Máquina Analítica**

Figura 2.2 – *Difference / Analytical Engine*
(<http://www.nmsi.ac.uk/on-line/treasure/objects/1862-89.html>)

Em 1940, Alan Turing liderou a equipe que construiu um dispositivo cujo objetivo era decifrar mensagens alemãs gerada pela máquina *Enigma*. Embora o próprio Alan Turing não o julgasse desta forma, pode-se considerar este invento como sendo o primeiro computador moderno. Chamava-se *Heath Robinson* e foi substituído em 1945 pelo *Colossus*, que utilizava tecnologia mais moderna.

A grande mudança aconteceu posteriormente com a inovação que foi o surgimento do primeiro computador que incluía programas (processamento lógico de informações) e dados armazenados de forma semelhante, o que iria permitir mais do que a realização de cálculos matemáticos (TURING, <http://www.turing.org.uk/turing/scrapbook/computer.html>).

Embora não se possa precisar a autoria do feito, o fato é que se abriram assim as portas que faltavam para o desenvolvimento de máquinas inteligentes, pois passou-se a se processar dados de forma mais rápida e com maior velocidade, o que se por um lado foi um grande avanço, por outro, ainda não era suficiente para garantir o elo entre inteligência humana e máquinas.

2.2 Inteligência artificial e sistemas especialistas

Embora a invenção do computador tenha proporcionado a tecnologia necessária para o surgimento da IA, foi somente por volta de 1950 que a ligação entre inteligência humana e máquinas foi realmente observada. Este último elo pode ser atribuído a Norbert Wiener, quando pesquisou sobre realimentação (*feedback theory*) e teorizou que comportamento inteligente seria resultado de mecanismos de realimentação, mecanismos estes que poderiam ser imitados por máquinas. Esta descoberta influenciou muito o desenvolvimento inicial da IA (<http://tqd.advanced.org/2/05/history.html>).

Considerado o primeiro evento significativo na história da IA, o artigo *Computing Machinery and Intelligence* do matemático britânico Alan Turing propõe um teste denominado *Turing Test*, cujo objetivo é fornecer uma definição para inteligência. Na proposição, questiona-se ao passar em um teste semelhante, uma máquina pode ser considerada inteligente. Neste trabalho, são apresentados pontos de vista favoráveis e contrários à idéia de que computadores possam exibir inteligência (TURING, 1950).

Entretanto, o surgimento oficial do termo IA só aconteceu em uma conferência organizada em 1956 por John McCarthy. O objetivo deste estudo era desenvolver máquinas que tivessem a capacidade de resolver certos tipos de problemas até então solucionados exclusivamente por seres humanos. Baseava-se no princípio de que o processo do aprendizado e as características da inteligência podiam ser de tal forma descritos, que seria possível a execução da tarefa (McCARTHY et al., 1955).

Os primeiros trabalhos na área de IA foram programas computacionais de natureza acadêmica capazes de imitar a participação humana em jogos, sendo xadrez o preferido. Outra área de interesse para os pesquisadores neste estágio inicial foi a lógica (DURKIN, 1994).

Um dos mais ambiciosos projetos deste estágio inicial da IA foi a elaboração de um programa computacional que teria por objetivo resolver uma grande extensão de problemas, que iam desde jogos até integração simbólica, o *General Problem Solver (GPS)*. A abordagem utilizada foi definir o problema em estados que representavam diferentes estágios na solução do problema. O processo consistia em modificar o estado do problema através da aplicação de operadores tantas vezes quantas fossem necessárias até atingir o objetivo desejado (NEWELL e SIMON, 1972).

Como dificuldades encontradas, podem ser citadas a dificuldade para encontrar os operadores apropriados aos diferentes estados e os limitados recursos de *hardware* disponíveis à época.

As expectativas iniciais de que os cérebros eletrônicos teriam um potencial ilimitado foram sendo gradativamente substituídas pela consciência de que a resolução de problemas reais ainda não fora obtida, até que no início dos anos 70, um relatório solicitado pelo Conselho de Pesquisa em Ciência da Inglaterra, ao emitir um parecer contrário a transformação da IA em um campo distinto de estudo, provoca um forte impacto negativo na comunidade de pesquisadores, impacto este que não é suficiente para interromper todas as pesquisas da época. A principal alegação era de que as descobertas realizadas até então não tinham causado o impacto prometido (DURKIN, 1994).

Pode-se dizer que a grande mudança de paradigma veio com o projeto DENDRAL. Este trabalho foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Stanford, em um esforço para formalizar o conhecimento dentro de um domínio científico específico, no caso química orgânica. Outro grande objetivo do projeto foi entender melhor o processo de transformação de hipóteses explanatórias em explicações julgadas adequadas (<http://smi-web.stanford.edu/research/history.html>).

O resultado, após mais de uma década de esforços (1965 - 1983) e com a colaboração de pesquisadores de diversas áreas, foi um sistema computacional que operava tão bem quanto os químicos especialistas da época na determinação de estruturas moleculares capazes de representar a análise espectrográfica de uma molécula desconhecida.

Embora o sistema DENDRAL não seguisse a estrutura tradicional dos SE, pois ele integrava três programas independentes, dos quais apenas 2 eram baseados em regras, ele permitiu a descoberta de que além dos métodos de inferência, o conhecimento específico sobre domínios limitados de aplicações também era importante; uma vez que segundo GONZALEZ e DANKEL (1993), a técnica de utilizar um conhecimento geral que pudesse ser aplicado a muitos domínios até então não tinha se mostrado muito eficiente.

Examinando este projeto, percebe-se que talvez o ponto mais importante tenha sido a observação de que químicos reconhecidamente competentes usavam heurística para reduzir o número de possibilidades a serem analisadas.

Assim surgiram os sistemas baseados em conhecimento, também conhecidos como SE e hoje uma das áreas de maior sucesso da IA.

2.3 Conceito de sistemas especialistas

Existem basicamente duas linhas principais para a construção de sistemas que podem ser considerados inteligentes: a linha conexionista e a linha simbólica.

A linha conexionista visa à modelagem da inteligência humana através da simulação dos componentes do cérebro, isto é, de seus neurônios, e de suas interligações (ZUCHI, 2000). Muito desta inspiração veio do desejo de produzir sistemas artificiais capazes de executar funções similares às que o cérebro humano executa rotineiramente, possibilitando assim um melhor entendimento do seu funcionamento.

Segundo RICH e KNIGHT (1994), na busca de construir máquinas inteligentes, só se tem um modelo que ocorre naturalmente: o cérebro humano. Uma idéia óbvia seria então simular o funcionamento deste diretamente no computador.

Em 1943 surgiu a representação e formalização matemática dos neurônios artificiais, propostas pelo neuropsicólogo McCulloch e o matemático Pitts, que deram origem às redes neuronais (ZUCHI, 2000). Estas redes seriam unidades conectadas por canais de comunicação (conexões) que carregam dados numéricos e não símbolos.

A linha simbólica por sua vez dá ênfase aos processos cognitivos, que correspondem à forma como o ser humano processa informação. Pode-se dizer que a cognição é o estudo dos processos mentais usados no pensamento, percepção, classificação, reconhecimento, etc. O objetivo é, ao descobrir como as pessoas adquirem, organizam e usam o conhecimento durante o processo de resolução de problemas, encontrar explicação para comportamentos inteligentes.

Os sistemas baseados em conhecimento, ou SE como são mais conhecidos, estão inseridos nesta linha de pesquisa e serão apresentados com mais detalhes a partir de agora.

Os SE diferem basicamente dos programas computacionais convencionais por manipular um tipo de conhecimento que normalmente não pode ser manipulado de forma algorítmica. Estes sistemas trabalham com conhecimento considerado de natureza heurística.

Heurística não representa conhecimento específico sobre um sistema, mas diretrizes de como este opera. De uma forma geral, estas diretrizes podem ser representadas por relacionamentos causa x efeito que não são de conhecimento público (IGNIZIO, 1991). A idéia básica foi sugerida por Emil Post em 1936, quando propôs os hoje chamados sistemas de Post que representavam um método geral de processamento de dados (BITTENCOURT, 1998).

O trabalho *Human Problem Solving* (NEWELL e SIMON, 1972) também demonstra que muito da capacidade humana de resolução de problemas poderia ser expressa por regras de produção do tipo SE/ENTÃO. A condição (lado esquerdo) da regra é constituída por um padrão que determina a aplicabilidade da regra enquanto a ação (lado direito) representa o que será feito quando esta regra for aplicada.

No contexto de SE, pode-se dizer que a heurística representa um conhecimento baseado na experiência adquirida por um especialista que permite a esta pessoa chegar rapidamente à solução de um problema sem que obrigatoriamente tenha que fazer uma análise detalhada do mesmo (DURKIN, 1994).

Diferentemente do algoritmo, a heurística apesar de freqüentemente fornecer uma resposta correta, pode em determinadas situações errar, ou mesmo não ser capaz de gerar qualquer resposta. Isto se deve ao fato de nem todas as possibilidades serem necessariamente analisadas.

Segundo RICH e KNIGHT (1994), a heurística é uma técnica que melhora a eficiência de um processo de busca, possivelmente sacrificando pretensões de completeza. É como um guia de turismo, é boa no sentido de que geralmente aponta para direções interessantes, mas pode ser imprópria no sentido de que pode deixar de fora pontos de interesse para determinados indivíduos. Esta afirmativa é mais facilmente compreendida através de um exemplo prático.

Sabe-se que para um diagnóstico eficaz de falhas em sistemas hidráulicos, deve-se inicialmente coletar o maior número possível de informações qualitativas sobre o problema. Depois, estas informações devem ser confrontadas com as indicações dos sensores do circuito para que a conclusão e/ou diagnóstico final seja o mais preciso possível. Ocorre que, por motivos diversos (econômicos, de segurança, etc.), a equipe encarregada de localizar o problema nem sempre tem tempo suficiente para executar a análise de todas as combinações possíveis, ou isto não é possível. Na maioria das vezes, os atalhos usados pelo pessoal envolvido na faina de diagnóstico levam ao objetivo desejado, porém em alguns casos podem falhar.

A diferença básica entre heurística e algoritmo é que este último pode ser entendido como sendo um método que utiliza procedimentos matemáticos para resolver um problema, de forma a encontrar a resposta em um número finito de operações (IGNIZIO, 1991), ou como apresentado por MÜLLER (1998) é um raciocínio, caracterizado pela certeza de que se aplicado a um determinado problema, chega em um número determinado de etapas à solução deste problema. A implementação computacional de um algoritmo, quando este existe, gera um programa procedural, seqüencial ou convencional, e sempre fornece uma resposta correta. Para ilustrar a diferença, cita-se o exemplo abaixo apresentado por GENARO (1986) em seu livro **Sistemas Especialistas, o Conhecimento Artificial**.

Tabela 2.1 - Método algorítmico x Método heurístico (GENARO, 1986)

PROBLEMA	ELIMINAR CONTRABANDO	
	MÉTODO ALGORÍTMICO	MÉTODO HEURÍSTICO
Solução	Patrulhar <u>toda</u> a costa e fronteiras. Rigorosa vistoria em <u>todos</u> os pontos de entrada no país.	Vigiar rotas mais conhecidas. Inspeção aleatória nas bagagens mais prováveis.
Características	Alto custo para realização. Sempre funciona.	Pode ser feita com menos recursos e falhar em certas situações.
Aplicação	Quando existir algum algoritmo ou este for factível.	Se não existir algoritmo, ou este não puder ser realizado.

O conceito de SE é muitas das vezes relacionado com a função que este executa, outras com a sua estrutura. A tabela 2.2 apresentada a seguir, resultado de pesquisa na Internet (<http://www.bus.orst.edu>), resume o pensamento de alguns estudiosos do assunto.

Tabela 2.2 – Conceitos de sistemas especialistas

PONTO CONSIDERADO IMPORTANTE	CONCEITO
Área	“... resolve problemas de maneira eficaz em uma pequena área do conhecimento” (WATERMAN, 1986)
Dificuldade	“... resolve problemas que são difíceis o suficiente para necessitar conhecimento humano especializado” (FEINGENBAUM, 1985).
Desempenho	“... permite ao usuário acessar o seu conhecimento de forma e com resultado similar a um especialista humano” (EDWARDS & CONNELL, 1989).
Capacidade de explicação	“... incorpora processos de explicação” (LIEBOWITZ, 1988).
Separação entre o conhecimento e a forma como este é controlado	“... colocar conhecimento originado de um especialista humano dentro de um computador” (BRITISH COMPUTER SOCIETY’S SPECIALIST GROUP IN FORSYTH, 1984).

Mais recentemente, MENDES (1997) conceituou SE como sistemas interativos que respondem questões, solicitam e fornecem esclarecimentos, fazem recomendações e geralmente auxiliam o usuário orientando-o no processo de tomada de decisão, ou seja, simulam o raciocínio humano fazendo inferências, julgamentos e projetando resultados.

Apesar de não haver uma definição única, pode-se dizer que SE é um programa computacional que devido a características e técnicas específicas, visa a tomar as decisões que um especialista humano tomaria se fosse colocado frente à mesma situação, no mesmo domínio específico de conhecimento.

2.4 Estrutura dos sistemas especialistas

Quando um especialista humano se depara com um problema, este primeiramente obtém fatos sobre a situação e os armazena na sua memória de curto prazo. Depois raciocina, combinando fatos da memória de curto prazo com conhecimento da memória de longo prazo. Usando este processo, consegue inferir soluções para o problema DURKIN (1994).

NOYES (1992) cita que foram identificados três estágios básicos de processamento de conhecimento: aquisição deste por um dos sentidos, retenção na memória e recuperação para posterior uso.

O entendimento deste processo, bem como dos termos citados acima (memória de curto e longo prazo), passa pela compreensão de que para realizar qualquer tipo de inferência, as pessoas necessitam de habilidade para armazenar conhecimento, pois só assim este conhecimento poderá ser manipulado e recuperado.

A nossa memória consiste de vários depósitos de informação, cada qual representando um papel diferente no processo de formação das recordações. Segundo ULLMAN (1990), a memória de curto prazo compreende a nossa mente consciente.

Estudos feitos para determinar a natureza da informação armazenada na memória de curto prazo descobriram que esta é principalmente de natureza acústica e tem duração pequena. O esquecimento normalmente acontece dentro de aproximadamente 15 segundos. Pesquisas desenvolvidas por George Miller determinaram que a memória de curto prazo pode reter em torno de sete itens de informação. Um item consiste em um pedaço de informação (*chunk*), que pode ser um número, uma fórmula ou uma frase. Um pedaço é qualquer coisa que o cérebro armazena como uma representação unitária. O cérebro pode reter mais informação na memória de curto prazo se estiver organizado em pedaços de informação de alto nível. Como exemplo de organização de alto nível, cita-se o agrupamento de letras formando palavras.

Por outro lado, a memória de longo prazo, ou depósito secundário, consiste em informação que nós temos acumulado de forma permanente. A capacidade desta é ilimitada e diferentemente da memória de curto prazo, tem o seu acesso lento, da ordem de 10 seg. / pedaço.

2.5 Elementos de um sistema especialista

A estrutura de um sistema especialista é semelhante à citada acima, na qual a memória operacional (correspondente à memória de curto prazo), interage com a base de conhecimento (correspondente à memória de longo prazo) através da máquina de inferência, possibilitando assim que o sistema apresente ao usuário as respostas (DURKIN, 1994). A Figura 2.3 apresentada por DURKIN (1994), ilustra o que foi citado.

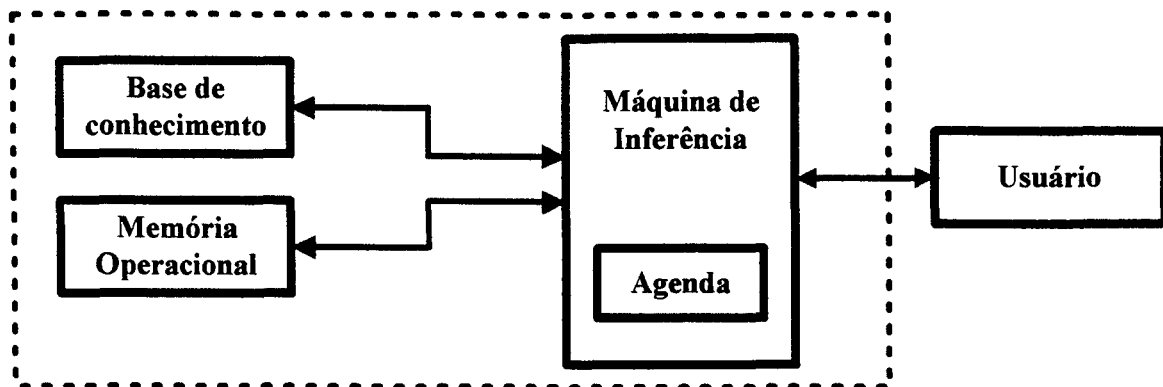


Figura 2.3 - Estrutura de um sistema especialista (DURKIN, 1994)

Para que a Figura 2.3 seja bem entendida, é importante compreender os conceitos de base de conhecimento, memória operacional e máquina de inferência:

- **base de conhecimento:** representa a parte do sistema especialista que contém o domínio de conhecimento; conhecimento este que é de natureza predominantemente heurística e pode ser representado na forma de regras, conceitos (objetos ou frames) e relacionamentos (redes semânticas). Segundo GONZALEZ e DANKEL (1993), é a memória de longo prazo do sistema.

Um dos problemas mais sérios e ao mesmo tempo mais comuns na implementação de SE, é o fato de que normalmente parece impossível fornecer o conhecimento completo sobre o domínio que o sistema vai operar. ZUCHI (2000) observa haver uma relação entre o nível de desempenho do sistema especialista e a qualidade da sua base de conhecimento.

- **memória operacional:** a memória operacional funciona como a memória de curto prazo do sistema, pois contém os fatos relativos ao problema que são descobertos durante a consulta do usuário com o SE. Estes fatos podem ser recebidos por sensores, banco de dados ou outros programas. Tal informação tanto pode ser fornecida de uma só vez ou à medida que a sessão avança. No presente trabalho, sessão significa o espaço de tempo necessário para o SE chegar a uma conclusão.
- **máquina de inferência:** funciona como um processador cognitivo que compara os fatos contidos na memória operacional com o conhecimento contido na base de conhecimento para tirar conclusões sobre o problema (DURKIN, 1994). Quando a base de conhecimento é formada por regras, a máquina de inferência determina qual condicional da regra, se existir alguma, é

satisfeita por fatos que estejam na memória operacional e adiciona a conclusão desta regra à memória operacional.

- **agenda:** representa uma lista priorizada de regras geradas pela máquina de inferência, cujas premissas são satisfeitas por fatos da memória operacional.

Além dos componentes supracitados, não se pode deixar de mencionar a interface com o usuário, que é o mecanismo pelo qual o usuário e o sistema especialista se comunicam e o mecanismo de explicação, uma importante característica dos SE, normalmente realizada através da reconstituição das regras disparadas durante o processo de inferência (SANNEMANN, 1997).

2.6 Formas de inferência

Segundo FERREIRA (1986), inferência significa a passagem da premissa à conclusão. No contexto de SE, pode ser entendida como o processo de se chegar a uma solução, resposta ou conclusão a partir de um determinado conhecimento inicial (GONZALEZ e DANKEL, 1993). Em outras palavras, pode-se dizer que é a técnica através da qual os SE solucionam problemas. Existem dois mecanismos clássicos que podem ser utilizados para se chegar a uma conclusão e serão apresentados a seguir:

2.6.1 Encadeamento direto (*Forward Chaining*)

Neste tipo de inferência, as conclusões são geradas a partir de um conjunto de fatos conhecidos. O sistema obtém novos fatos usando regras cujas premissas combinem com os fatos conhecidos. O processo continua até que o objetivo seja atingido ou então quando não existirem mais regras cujas premissas combinem com os novos fatos que se apresentam (DURKIN 1994).

Existem basicamente duas formas de utilizar o encadeamento direto: na primeira, todos os fatos conhecidos são fornecidos no princípio da consulta; na segunda abordagem, os fatos são fornecidos gradativamente a medida que a sessão avança (IGNIZIO, 1991).

Este tipo de inferência é apropriado para atividades que envolvam síntese, tais como projeto e planejamento. Nestas aplicações, embora existam várias potenciais soluções que podem ser derivadas das entradas, todas partem sempre do mesmo ponto inicial, que no caso específico do projeto são os requisitos iniciais.

2.6.2 Encadeamento reverso (*Backward Chaining*)

Esta abordagem é mais indicada para aplicações cujas entradas sejam em maior número do que as conclusões (GONZALEZ e DANKEL, 1993). Como exemplo típico para esta aplicação, cita-se a atividade de diagnóstico.

Esta forma de inferência difere significativamente da apresentada anteriormente, pois neste caso, o sistema começa com uma hipótese e busca fatos que possam comprová-la. A principal dificuldade desta forma de inferência é encontrar uma ligação que consiga unir a evidência à hipótese.

Esta abordagem será apresentada com maiores detalhes no capítulo que trata do processo de desenvolvimento do protótipo, pois foi a forma de inferência adotada neste trabalho de pesquisa. Podem também existir situações nas quais haja necessidade de combinar as formas de inferência citadas acima.

Uma característica importante do modo de inferência, seja ele qual for, diz respeito à monotonicidade ou não da inferência. Sistemas monotônicos não permitem a revisão dos fatos, ou seja, uma vez declarado como verdadeiro, o fato não pode ser modificado (BITTENCOURT, 1998). Isto significa dizer que neste tipo de inferência, quando um determinado fato antes verdadeiro torna-se falso, as conclusões baseadas neste fato não se tornam falsas como deveriam.

A escolha da ferramenta de desenvolvimento vai depender em grande parte da forma de inferência. Normalmente, sistemas que utilizam encadeamento reverso não podem ser construídos com ferramentas que têm como recurso apenas o encadeamento direto.

Embora não haja consenso na literatura, pode-se dizer que existem outras formas de inferência que podem ser utilizados por sistemas baseados em conhecimento. Como exemplo, cita-se a analogia, que pode ser entendida como sendo o processo de inferir conclusões baseadas em similaridades com outras situações.

Por não fazerem parte do escopo principal do trabalho, serão apenas brevemente comentadas no item 2.10 as alternativas mais citadas pela literatura.

Cabe ressaltar que quando se usa objetos, frames ou uma rede semântica, a inferência pode ser realizada exclusivamente por procedimentos específicos. Como procedimentos específicos entende-se a verificação dos valores dos atributos dos objetos (RAMOS, 1995).

2.7 Engenharia de conhecimento

O termo engenharia de conhecimento foi cunhado para descrever a atividade de extrair dos especialistas o conhecimento e codificá-lo na forma computacional mais adequada. Engenheiro de conhecimento é a pessoa que através do procedimento citado acima desenvolve o sistema especialista.

Segundo SCHANK (1991), engenharia de conhecimento é o processo através do qual especialistas em IA descobrem o que um especialista humano faz para resolver um problema e depois codificam este conhecimento em uma forma tal que uma máquina possa seguir.

O conceito apresentado acima mostra a importância dos principais envolvidos na construção de um sistema especialista: o especialista e o engenheiro de conhecimento. É importante ressaltar que sem o especialista humano no domínio de conhecimento considerado, não se consegue construir um sistema especialista.

Embora tanto SE, como outros tipos de *software* considerados convencionais, tenham o objetivo de fornecer soluções computacionais para problemas, existem diferenças entre os termos programação convencional e engenharia de conhecimento. Talvez uma das principais esteja no fato de que a programação convencional envolve a representação de procedimentos normalmente bem definidos, que podem ser reproduzidos por métodos algorítmicos, enquanto a engenharia de conhecimento envolve a representação de um conhecimento impreciso e geralmente restrito a uns poucos especialistas, que muitas vezes não conseguem explicitá-lo de maneira clara.

Em programas convencionais, segue-se um conjunto pré-fixado de instruções que normalmente não são flexíveis o suficiente para se adaptar a mudanças inesperadas de circunstâncias. Este foi um dos aspectos analisados no estudo de viabilidade do *XCON*, uma vez que a introdução de novos componentes de *hardware* na linha de montagem da DEC, implicaria em freqüentes modificações de configuração que dificilmente poderiam ser implementadas com rapidez em programas convencionais.

Outro ponto importante e que reforça a observação acima, é que nos programas convencionais não ocorre a separação entre o conhecimento e os métodos responsáveis pela entrada, processamento e a saída dos dados. Segundo MÜLLER (1998), em programas convencionais, o conhecimento não é representado explicitamente, ou seja, não existe a separação entre o conhecimento e os procedimentos que detalham a entrada, o processamento e a

saída. Nos programas convencionais, a mudança de um simples fato pode acarretar a correção de centenas de linhas do código fonte.

No caso específico do desenvolvimento de SE, pode-se afirmar que a natureza e a quantidade de conhecimento necessário para solucionar o problema são bastante incertas, principalmente no início do projeto. Este fato pode com frequência levar o desenvolvedor da ferramenta computacional à chamada “mudança de paradigma” (GONZALEZ e DANKEL, 1993).

A mudança de paradigma ocorre quando durante o processo de desenvolvimento, o engenheiro de conhecimento descobre que a estrutura de representação, a ferramenta de desenvolvimento ou alguma outra característica de projeto está inadequada. A Tabela 2.3 abaixo ilustra algumas das diferenças entre programas convencionais e SE.

Tabela 2.3 – Diferenças entre programas convencionais e sistemas especialistas

CARACTERÍSTICA	PROG. CONVENCIONAIS	SIST. ESPECIALISTAS
Controle de execução	Declaração explícita	Máquina de inferência
Controle e dados	Integração implícita	Separação explícita
Solução por	Algoritmos	Regras e inferência
Explicação	Nenhuma	Geralmente presente
Saída	Sempre correta	Variável
Aplicação	Onde hajam métodos algorítmicos	Manipulação simbólica

Considerando a grande quantidade de referências e as diversas definições para o termo conhecimento, é importante conceituá-lo antes de prosseguir com a exposição do presente trabalho. A Figura 2.4 ilustra a diferença entre dados, informação e conhecimento (GIARRATANO e RYLEY, 1993).

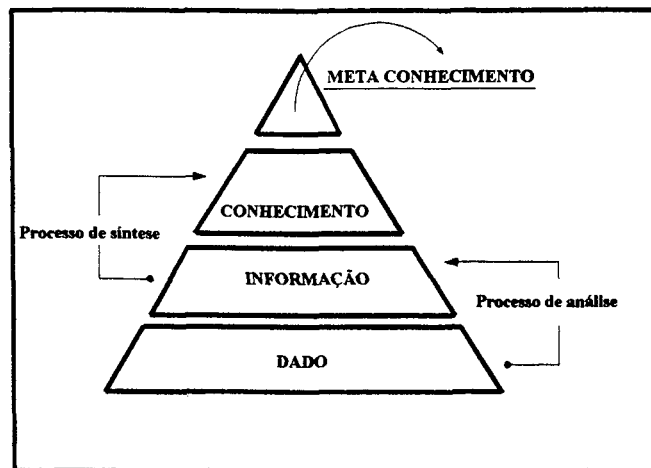


Figura 2.4 - Hierarquização do conhecimento (GIARRATANO e RYLEY, 1993)

Dados significam fatos ou conceitos expressos em afirmações que, isoladamente, não têm *a priori* significado prático, mas são de potencial interesse. Cita-se como exemplo o seguinte dado: $p_1 = 0,2$ bar.

Através de um processo de depuração baseado em critérios específicos (análise), os dados são processados para gerar informação. Pode-se dizer então que, como $p_1 =$ pressão na linha de aspiração, tem-se a informação de que a pressão na linha de aspiração equivale à 0,2 bar.

Quando uma certa informação é comparada com outra informação e combinada na forma de padrões, o que normalmente é feito através do processo de síntese, obtém-se conhecimento. Continuando no exemplo citado, comparando a informação do valor da pressão na linha de aspiração, com a informação dos valores de pressão considerados anormais para este trecho do circuito hidráulico ($> 0,16$ bar), um especialista em hidráulica pode chegar ao seguinte conhecimento: SE a pressão na linha de aspiração é 0,2 bar ENTÃO este valor pode ser considerado anormal.

CHORAFAS (1990) cita que existe uma diferença fundamental entre um banco de dados e um banco de conhecimento. Banco de dados têm uma estrutura pré-determinada, enquanto nos bancos de conhecimento a maneira como os fatos estão relacionados é determinada *ad hoc* como necessário para resolver um problema particular, o que caracteriza a busca heurística em contraponto à abordagem estruturada dos bancos de dados.

Quando indivíduos ou grupos comparam partes de conhecimento, é obtido aquilo que a literatura chama de meta conhecimento. No contexto de SE, meta conhecimento pode ser usado por exemplo para decidir qual conjunto de regras é o mais adequado para uma determinada situação.

Conhecimento tem níveis, isto é um dos fatos que justificam a dificuldade no aprendizado. Estudos mostram que a variável **anos de experiência** é o fator que mais influencia na habilidade de resolução de problemas técnicos, pois faz especialistas exibirem padrões de comportamento distintos dos novatos, obtendo um rendimento superior na tarefa de resolução deste tipo de problemas (MaC PHERSON, 1998).

Neste contexto, o nível mais baixo de conhecimento é representado por fatos que fazem o relacionamento entre objetos, símbolos e eventos. O nível acima é representado por conceitos que têm um grau de detalhamento maior do que fatos. Regras representam o terceiro nível de conhecimento, e representam um conjunto de operações e passos necessários para resolver um determinado problema. O nível mais alto de conhecimento é representado pela heurística (TUTHILL, 1990).

2.8 Processo de desenvolvimento

Segundo SILVA (1998), o desenvolvimento de um SE envolve uma boa quantidade de tarefas empíricas, dentre as quais podem ser citadas a interação com os especialistas humanos e o processo de validação. Mesmo assim, pode-se dizer que existem algumas etapas que podem servir como referência no processo de desenvolvimento de um SE. A seguir, será apresentado de forma concisa o entendimento de alguns autores sobre as principais etapas deste processo.

GONZALEZ e DANKEL (1993) afirmam que para o desenvolvimento de um S.E ser bem sucedido, as tarefas seleção da aplicação, determinação das fontes necessárias, escolha da ferramenta de implementação, desenvolvimento de um protótipo inicial, aquisição de conhecimento, verificação e validação, documentação e manutenção devem ser adequadamente executadas .

CHORAFAS (1990) cita as fases de aquisição, representação, escolha do ambiente de desenvolvimento, prototipagem e testes como eventos marcantes no processo. Além disso, enfatiza a importância do protótipo no processo de desenvolvimento de um SE.

IGNIZIO (1991) mostra que, além das etapas de aquisição, representação, implementação e validação, também fazem parte do processo a justificativa e a escolha do modelo de desenvolvimento.

CARRICO et al. (1989) identifica oito estágios no ciclo de vida de um SE: identificação, conceitualização, formalização, implementação, teste, avaliação de desempenho, manutenção e descarte.

GIARRATANO e RILEY (1994) resumem na tabela abaixo o modelo linear de desenvolvimento de um sistema especialista.

Tabela 2.4 – Modelo linear de desenvolvimento para SE (GIARRATANO e RILEY, 1994)

PLANEJAMENTO	DEFINIÇÃO DO CONHECIMENTO		PROJETO DO CONHECIMENTO		Implementação computacional e checagem	VERIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO		Avaliação do sistema
	Seleção/ Identificação das fontes	Aquisição Análise e Extração	Definição	Proj. Detalhado		Testes formais	Análise de resultados	

WATERMAN (1986) cita que o desenvolvimento de SE normalmente passa por três estágios: sistema experimental (normalmente lento e não muito eficiente), sistema de pesquisa (testado, mas ainda não muito eficiente) e sistema comercial (rápido, eficiente).

Os pontos apresentados acima demonstram existir uma correlação entre as visões dos diversos autores, embora não se possa dizer que exista uma metodologia única para o processo de desenvolvimento de SE. A metodologia utilizada neste trabalho com as respectivas fases, etapas e tarefas, bem como as razões que fundamentam a escolha serão apresentadas no capítulo 4.

A filosofia adotada na pesquisa é desenvolver o sistema em incrementos, ou seja, a medida que capacidades funcionais sejam inseridas, verificações devem ser feitas para checar se os resultados são os esperados. A adoção deste modelo (incremental interativo) de desenvolvimento faz estas atividades acontecerem de forma quase simultânea. Conforme citado no capítulo 1, este modelo de desenvolvimento é um dos pilares nos quais este projeto se fundamenta.

2.9 Técnicas de representação de conhecimento

Como ainda não se conhece a maneira exata como o cérebro humano trabalha e tendo a disposição somente máquinas que foram essencialmente projetadas para lidar com números, é necessário, antes de tudo, pensar como estruturar o conhecimento de forma que este mesmo conhecimento possa ser guardado e posteriormente manipulado por essas mesmas máquinas (RABUSKE, 1995).

O objetivo primordial de se representar o conhecimento é a sua recuperação posterior através do processo de inferência, de forma a produzir mais conhecimento.

BITTENCOURT (1998) cita que conforme apresentado no Manual de IA, representação de conhecimento “... é uma combinação de estruturas e de procedimentos de interpretação que, se usados de maneira correta dentro de um programa, levarão a um comportamento que simule o conhecimento dos seres humanos”

Do ponto de vista da estrutura da representação, o conhecimento pode ser considerado um conjunto de fragmentos que são acessados pelo processo de inferência. A adequação heurística da estrutura de representação pode ser analisada sob dois aspectos: em relação às propriedades dos fragmentos e em relação às propriedades da estrutura (BITTENCOURT, 1998).

Como propriedades dos fragmentos, podem ser citados:

- granularidade ou nível de detalhe do fragmento;
- disponibilidade, pois os fragmentos do conhecimento podem ser explicitamente representados ou não. Exemplos de conhecimento implícito são as heranças na programação que utilizam modelagem orientada a objetos e;
- credibilidade que está associada ao grau de certeza destes fragmentos.

Como propriedade da estrutura, cita-se:

- modularidade que vai mostrar o quão fácil é adicionar ou modificar os fragmentos de conhecimento.

As propriedades citadas acima são importantes, pois são elas que vão gerar as características do SE. Serão apresentadas a seguir algumas das técnicas mais utilizadas na representação do conhecimento:

- regras: são estruturas que relacionam informações, por exemplo, aquela originada da consulta do usuário com o SE.

Como exemplo cita-se a seguinte regra:

{ SE O NÍVEL DO ÓLEO NO RESERVATÓRIO ESTÁ BAIXO
OU EXISTE ALGUMA CONEXÃO SOLTA NA LINHA DE ASPIRAÇÃO
ENTÃO A CAUSA DIRETA PARA O RUÍDO NA BOMBA PODE SER AERAÇÃO

As grandes vantagens da regra são a naturalidade e a uniformidade. A regra é natural, pois é a forma de representação que as pessoas e especialistas normalmente empregam no dia a dia, o que as tornam fáceis de serem entendidas. Uniformes porque normalmente as regras são escritas segundo um padrão, na forma de pares de expressão consistindo em uma condição e uma ação.

Como desvantagem não se pode deixar de citar a opacidade, que em outras palavras significa a dificuldade de compreensão do fluxo de informações em um SE. Esta dificuldade pode ser contornada em algumas situações onde é possível separar as regras em grupos.

- redes semânticas: foram originalmente desenvolvidas para uso como modelos psicológicos da memória humana e propostas formalmente por Quillian no artigo *Semantic Information Processing*, mas agora são uma forma padrão de representação de conhecimento em SE, pois descrevem relações típicas de linguagem natural. Na rede semântica, os nós representam objetos, situações ou conceitos, enquanto os arcos expressam as relações entre estes elementos. Os tipos mais comuns de ligação são: “faz parte de” e “é um (a)” .

Segundo RICH e KNIGHT (1994), a principal idéia por trás das redes semânticas, consiste no fato do significado de um conceito vir do modo como ele é conectado a outros conceitos.

Como exemplo cita-se a rede semântica O SISTEMA DE GOVERNO É UM DOS SISTEMAS HIDRÁULICOS DO NAVIO, cuja representação gráfica está indicada na Figura 2.5 apresentada a seguir.

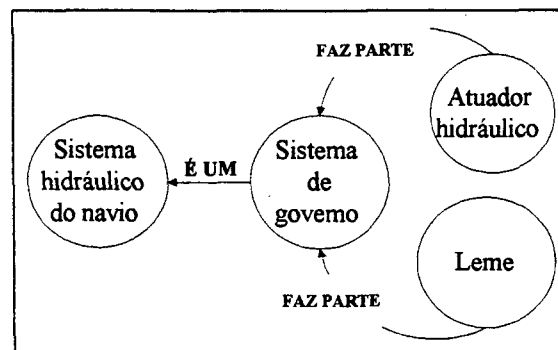


Figura 2.5 - Rede semântica representativa de um sistema hidráulico de governo

▪ objetos: pode-se dizer que o conceito de objetos incorporado pelas atuais linguagens que empregam modelagem orientada a objetos, nasceu das idéias propostas por Marvin Minsk (1974) no artigo *A framework to represent knowledge*. Neste artigo são propostas estruturas denominadas quadros (*frames*) que consistem de um conjunto de atributos cujos valores descrevem o estado de uma entidade representada pelo quadro no instante considerado.

Entretanto, os métodos de modelagem orientados a objeto só começaram a aparecer mais tarde (início dos anos 80). FURLAN (1998) apresenta os principais eventos ocorridos neste período:

- A comunidade Smaltalk em Portland, Oregon, produziu o enfoque de projeto dirigido à responsabilidade e Beck & Cunningham, em 1989, propuseram os cartões de responsabilidade de classe;
- Sally Shlaer e Steve Mellor escreveram livros sobre análise e projeto orientado a objetos em 1989 e 1991;
- Peter Coad e Ed Yourdon escreveram livros que propuseram um enfoque leve sobre a modelagem orientada a objetos aplicada a projetos;
- Jim Rumbaugh liderou uma equipe de pesquisadores nos laboratórios da *General Electric*, culminando com seu livro popular sobre métodos chamado *OMT (Object Modelling Technique)*
- Grady Booch realiza um trabalho de desenvolvimento da linguagem Ada na *Rational Software*;
- Ivar Jacobson produziu seus livros a partir de sua experiência com telefonia na Ericsson, introduzindo o conceito de caso de uso em 1994 e 1995 através da *OOSE (Object Oriented Software Engineering)*;

Uma vez que os métodos de Booch e *OMT* estavam crescendo independentemente, e sendo reconhecidos pela comunidade usuária, seus autores, respectivamente Grady Booch e James Rumbaugh juntaram forças através da *Rational Corporation* para forjar a unificação de seus trabalhos. Em outubro de 1995 lançaram a versão 0.8 do Método Unificado, como foi chamado inicialmente. Também em 1995, Ivar Jacobson juntou-se à equipe, fundindo o método *OOSE*, surgindo então a *UML (Unified Modelling Language)*, que teve por objetivo unificar alguns dos principais métodos existentes até então e parece estar tendo uma aceitação grande no mercado mundial.

Embora objetos sejam conceitos comuns a vários autores, neste trabalho adota-se a definição de objetos exposta por YOURDON e COAD (1992), que consideram estas entidades como sendo abstrações de algo que esteja no domínio do problema, cujo principal objetivo é fazer que a representação técnica corresponda de modo mais apurado à visão conceitual do sistema. Também podem ser chamados de instâncias ou ocorrências. Uma descrição de um ou mais objetos, através de um conjunto de atributos é denominada classe.

Para que o conceito apresentado acima seja bem aplicado, é necessário conhecer e entender as principais propriedades (abstração, encapsulamento, herança e polimorfismo) que esta abordagem proporciona. SILVA e CHEUNG (1997) trazem uma apresentação detalhada do assunto no contexto dos sistemas hidráulicos.

Diante do apresentado, constata-se que a técnica de representação mais adequada depende do tipo de problema e da área na qual o SE está sendo usado, não havendo uma regra geral de representação que atenda a todas as situações.

Antes de prosseguir, cabe ressaltar que a lógica é a base para a maioria dos formalismos de representação de conhecimento (BITTENCOURT, 1998).

Conforme apresentado em GIARRATANO E RILEY (1993), pode-se dizer que a lógica está fundamentada em alguns silogismos originados dos estudos do filósofo grego Aristóteles. Estes silogismos são compostos por premissas e uma conclusão. Segundo FERREIRA (1986), a palavra silogismo pode ser entendida como sendo a dedução de uma conclusão baseada em proposições, como também são chamadas as premissas. Pode-se dizer que em um silogismo, as premissas implicam logicamente na conclusão.

A importância da lógica reside no fato desta tratar de dois conceitos de fundamental importância para o estudo de SE: a verdade e a prova.

MORET (1998) aborda a questão “O que é a prova?”, afirmando que para muitos pode ser apenas um argumento convincente. Neste trabalho, entende-se prova como o processo de chegar a uma conclusão baseada em hipóteses ou resultados conhecidos.

Devido ao fato de regras formais de lógica poderem ser usadas para modelar uma parte significativa do raciocínio humano, serão apresentadas a seguir as principais técnicas de prova.

- lógica dedutiva: pode ser expressa da seguinte maneira:

Se A existe e se $A \rightarrow B$, logo B será verdadeiro.

- lógica indutiva: é a forma de raciocínio utilizada para se chegar a uma conclusão geral a partir de um número limitado de fatos. Difere do exemplo anterior, considerado como inferência logicamente correta. O exemplo abaixo demonstra o que foi apresentado:

Premissa 1: A bomba do fabricante A falha quando opera a temperaturas superiores a 150° C

Premissa 2: A bomba do fabricante B falha quando opera a temperaturas superiores a 150° C

CONCLUSÃO: Todas as bombas deste tipo falham quando operam a temperaturas superiores a 150° C.

- lógica abdutiva: é a forma de raciocínio que permite uma inferência plausível, onde plausível significa que a conclusão pode estar correta ou não. Pode ser expressa da seguinte maneira:

Se B existe e se $A \rightarrow B$, então não necessariamente A será verdadeiro

2.10 Vantagens e desvantagens da técnica de sistemas especialistas

Em função de certas características, os SE proporcionam algumas vantagens que os tornam especialmente atraentes para a aplicação que este trabalho está propondo. Dentre estas, destacam-se as seguintes:

- organização do conhecimento, tornando-o mais acessível e disponível;
- possibilidade de se criar um meio de preservar e consolidar um conhecimento específico dentro de uma organização (LACERDA e JÚNIOR, 1993);
- auxílio na implantação de uma filosofia participativa do usuário/operador, que ao evitar chamadas desnecessárias, especialmente em situações que possam ser consideradas não muito complexas, contribui de maneira bastante positiva para a redução de falhas dos equipamentos (LACERDA e JÚNIOR, 1993);

- criação de múltiplas especialidades, pois o sistema pode tornar disponível o conhecimento de vários especialistas humanos simultaneamente, continuamente e a qualquer tempo e
- possibilidade de facilitar atividades de formação e capacitação, à medida que o sistema pode ser usado na simulação de defeitos, sem a necessidade de afastamento do ambiente de trabalho por parte do profissional.

Entretanto, os SE também apresentam algumas desvantagens, que em alguns casos chegam a inviabilizar a sua utilização. Cita-se as consideradas mais críticas:

- dificuldade de mapear conhecimento de senso comum, também chamado por alguns autores de conhecimento genérico. Diferentemente dos seres humanos, os SE têm dificuldade em lidar com este tipo de conhecimento (WATERMAN 1986). A importância da afirmativa reside no fato de que todo o conhecimento de um SE tem que estar explicitamente definido para poder ser utilizado, pois caso contrário, dificilmente será possível fornecer uma resposta consistente;
- as respostas podem não estar sempre corretas, pois da mesma forma que os especialistas humanos cometem erros, os SE também podem cometê-los. Existe também a possibilidade de que uma consideração mal feita se propague por todo o processo, gerando conclusões erradas.

Este problema é realçado pela aplicação do SE. Se o SE está sendo usado para monitorar um reator nuclear, é fácil perceber que um erro, por menor que seja, pode ter conseqüências catastróficas;

- a maior desvantagem em alguns casos, talvez seja a tarefa de extrair dos especialistas o conhecimento, pois em algumas situações o especialista humano não consegue explicitar o conhecimento e em outras, ele não quer fazê-lo. Talvez essa seja a razão das diversas publicações que tratam do processo de aquisição de conhecimento denominarem esta fase do desenvolvimento de “gargalo” do processo.

2.11 Tipos alternativos de abordagens (*shallow x deep*)

Até agora o comportamento de um sistema está sendo analisado como um conjunto de relacionamentos causa x efeito que podem ser expressos na forma de regras e são originados da experiência de especialistas humanos no domínio de conhecimento.

Como foi apresentado na seção anterior, uma das maiores dificuldades com que se defrontam os desenvolvedores de SE é a aquisição do conhecimento dos especialistas humanos, devido principalmente à forma compilada com que este se apresenta na mente destas pessoas. Em muitas situações não existe uma fundamentação teórica que justifique o raciocínio do especialista humano.

Para tentar resolver estes problemas, estão sendo estudadas abordagens alternativas, cujo objetivo principal é diminuir a dependência do especialista humano. Por teoricamente necessitarem de um entendimento mais profundo do problema, estão sendo chamadas de abordagens profundas (*deep*), em oposição à abordagem tradicional, denominada rasa (*shallow*). Apesar de não fazerem parte do escopo principal do trabalho, serão apresentadas e comentadas as duas mais citadas pela literatura, devido à importância que tem no contexto da IA :

- inferência baseada em modelos (*Model Based Reasoning*): nesta abordagem que está atualmente sendo bastante utilizada em diagnóstico, a aquisição de conhecimento é substituída pela elaboração de um modelo comportamental do sistema. Este modelo é baseado na maioria das vezes em diagramas esquemáticos, que posteriormente são transformados em um algoritmo que modele o comportamento do sistema (GONZALEZ e DANKEL, 1993).

DARWICHE (2000) cita que a grande vantagem desta abordagem é a transformação do encadeamento reverso necessário na abordagem tradicional de diagnóstico, em encadeamento direto. Embora a tarefa de construir o modelo possa ser considerada mais simples do que adquirir o conhecimento de um especialista, nem sempre isto é possível. O mesmo DARWICHE (2000) apresenta em seu artigo *Model-Based Diagnosis under Real-World constraints*, vantagens e desvantagens de cada técnica.

- inferência baseada em casos (*Case Based Reasoning*): o conceito desta abordagem baseia-se fortemente na crença de que experiências passadas são fundamentais para resolver novos problemas. Tais experiências recebem o nome de casos. A grande diferença desta abordagem para a abordagem tradicional dos SE, é que as experiências passadas devem estar documentadas. Nesta abordagem, o problema de extrair conhecimento é substituído pelo problema de construir e organizar uma biblioteca de casos passados que possam ser recuperados e comparados por similaridade com o caso atual. Em algumas situações, isto pode tornar-se um obstáculo quase intransponível, dada a comprovada dificuldade que as empresas têm de documentar e rastrear dados históricos.

As razões que justificam a não utilização destas abordagens neste trabalho estão apresentadas no capítulo 4. Do exposto, pode-se concluir que não existe uma supremacia de uma abordagem sobre as demais. Cada uma tem vantagens e desvantagens específicas que devem ser analisadas tomando por base o contexto no qual o sistema irá ser utilizado, pois só assim será possível se chegar a uma conclusão imparcial de qual é a melhor opção, que em alguns casos pode vir a ser a utilização de abordagens diferentes no mesmo sistema.

2.12 Os sistemas especialistas como auxílio ao processo de tomada de decisão

O fato de a grande maioria das atividades realizadas no dia a dia de uma empresa serem atividades que envolvam resolução de problemas, leva, muitas das vezes, os SE a serem utilizados como ferramenta de apoio ao processo de tomada de decisão (MÜLLER, 1998).

Os processos decisórios passam sempre pela análise de alternativas disponíveis e culminam com a escolha daquela que melhor satisfaz um conjunto de condições. Dentre os vários elementos que influem nesta escolha, destaca-se o conhecimento do assunto que está sendo analisado. Neste ponto, os SE são especialmente úteis por já terem o conhecimento estruturado, acessível e relativamente fácil de ser consultado.

Estas ferramentas computacionais podem ser utilizadas isoladamente ou como parte de outro programa, em diferentes tipos de plataforma. Devido à grande evolução tecnológica dos processadores, atualmente S.E podem ser desenvolvidos em PC's e podem ser utilizados em aplicações diversas, como por exemplo:

- **classificação:** escolha de uma alternativa dentre várias possíveis;
- **diagnóstico:** identificação da relação causa/efeito responsável pela hipótese a ser provada;
- **monitoramento:** comparação de observações com saídas esperadas; planejamento e/ou programação: organização de planos de ação ou eventos de acordo com restrições pré-estabelecidas;
- **projeto e/ou configuração:** escolha da(s) combinação(ões) que satisfazem requisitos pré estabelecidos, e em diferentes áreas de conhecimento como: educação, engenharia, medicina geologia e etc.

2.13 Aplicações recentes

Das aplicações apresentadas, pode-se dizer que o principal papel dos SE tem sido na área de diagnóstico. Isto talvez ocorra porque nesta aplicação, os SE desempenham função semelhante à de muitos especialistas humanos nas áreas de engenharia e medicina. CARRICO et al. (1989) consideram que o paradigma de diagnóstico é bastante desafiador, porque tem como meta identificar um padrão de relacionamento em um mar de possibilidades. Na engenharia e dentro da área de diagnóstico existem alguns SE que merecem ser apresentados. Serão expostos abaixo com maiores detalhes dois sistemas que serviram como base para o protótipo computacional desenvolvido nesta pesquisa.

2.13.1 Sistema de diagnóstico integrado (*Integrated diagnostic system - I.D.S.*)

Em 1992, pesquisadores do Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá (NRC) iniciaram o programa Sistema de Diagnóstico Integrado (*Integrated Diagnostic System - IDS*). Após a realização de diversos estudos, foi tomada a decisão estratégica de começar o projeto com a indústria de aviação comercial, pois devido à grande quantia de investimentos gastos pelas companhias aéreas e o alto nível de segurança envolvido na atividade, qualquer tecnologia que previsse ou explicasse falhas nos componentes poderia levar a economia de alguns milhares de dólares, reduzir o número de atrasos, aumentar o nível geral de segurança e ajudar a obter um melhor entendimento dos complexos sistemas envolvidos (WYLIE et al., 1997).

Foi definido então que o sistema poderia ser usado para explicar falhas de componentes e desvios de performance e que deveria prever uma estrutura para adição de novas abordagens, como as citadas em 2.11. Somado a isso, deveria interagir com outros sistemas computacionais de suporte a decisão para o cliente.

Após definir os principais usuários do sistema: técnicos de linha e da equipe de controle de operações da manutenção, concluiu-se que somente uma metodologia que contemplasse o modelo incremental de desenvolvimento poderia se adaptar a quantidade de incertezas envolvidas no projeto.

IDS utiliza um conjunto de técnicas de representação do conhecimento, que são listadas a seguir:

- regras geradas do manual de detecção de falha e de conhecimentos heurísticos adquiridos por especialistas humanos na área específica de conhecimento e

- objetos, que serviram principalmente para comunicação entre os diversos módulos que compõem o sistema.

Além das técnicas citadas acima, utiliza também a abordagem baseada em casos (**CBR**) como o principal meio para recuperar conhecimento de dados históricos. Estes dados eram gerados das mensagens e relatórios elaborados durante o vôo da aeronave.

Em 1994, ocorreu a importante decisão sobre a escolha da ferramenta de desenvolvimento do sistema. Os principais aspectos analisados foram os seguintes:

- o desenvolvimento de ferramentas consumiria muito tempo e ferramentas com suporte possibilitariam o desenvolvimento do sistema após a fase protótipo com mais segurança;
- a necessidade de uma ferramenta que pudesse trabalhar com regras, base de casos, objetos e base de dados;
- a experiência já adquirida pelos desenvolvedores com algumas ferramentas convencionais de desenvolvimento de IA.

Após aproximadamente 4 anos de pesquisa, o resultado do trabalho da equipe envolvida no projeto (doze pesquisadores), foram três versões que são brevemente comentadas a seguir:

Versão 0.1 – Tinha por objetivo principal favorecer a concretização de idéias, ou em outras palavras, ajustar a direção dos trabalhos que estava iniciando. Esta versão consistiu de um conjunto de interfaces (quatro telas básicas).

Versão 1.0 – Era um protótipo *off-line* com a capacidade de reproduzir casos passados através dos dados da sua base de conhecimento. Possuía facilidades suficientes para testar os objetivos propostos inicialmente. Esta versão tratava dos sub-sistemas de controle e de motores das aeronaves.

Versão 2.11. Esta versão *on-line* foi colocada em prática em 1996. Atendeu a todos os sistemas de um avião (A320), tendo completo acesso aos manuais (detecção de falha e lista mínima de equipamentos) e possuindo também uma biblioteca de casos para resolução de problemas.

2.13.2 Assistente para diagnóstico de falhas em turbinas (*Jet engine troubleshooting assistant - J.E.T.A.*)

Diversos estudos demonstraram que era necessário mais que a integração de diferentes fontes de informação (manuais técnicos, relatórios, leituras de instrumentos e observações pessoais) para que a manutenção de turbinas a gás fosse bem executada. Constatou-se que a experiência adquirida ao longo dos anos também era elemento fundamental para o bom desempenho desta tarefa (HALASZ et al., 1992).

Dessa forma surgiu o objetivo inicial de se desenvolver um sistema que, ao codificar a heurística das pessoas que possuíssem esta experiência, fosse capaz entre outras coisas de:

- fornecer recomendações técnicas;
- acomodar diferentes níveis de conhecimento;
- fornecer mais flexibilidade do que os tradicionais manuais técnicos que são fornecidos pelos fabricantes.

Além disso, o sistema deveria prever melhoramentos futuros, tais como: capacidade de explicação flexível, história de casos e inferência baseada em modelos.

Inicialmente, o equipamento foi considerado como um conjunto de entradas que geravam um conjunto de saídas, e não um modelo matemático, pois a tarefa de construir um modelo matemático que representasse o comportamento físico da turbina foi considerada de difícil execução.

Um exemplo das dificuldades encontradas e que são comuns aos sistemas que têm por meta realizar diagnósticos é apresentado na Figura 2.6.

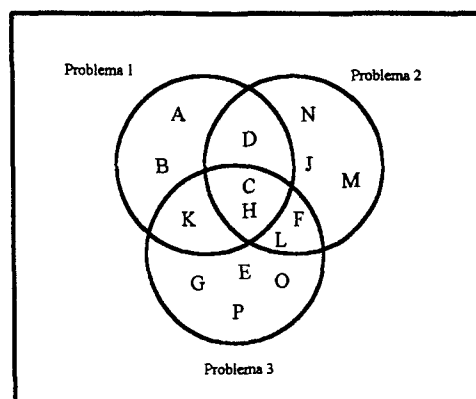


Figura 2.6 - Exemplo de combinações possíveis de problemas em diagnóstico (HALASZ et al., 1992)

A figura acima mostra que o problema 1 pode ter como causas os componentes A, B, C, D, H e K. Caso este seja o único problema presente, então a pesquisa de causas pode ser feita na ordem citada. Se o problema 2 também existir, então os componentes F, J, L, M e N tornam-se possibilidades adicionais. Como os componentes C, D e H podem produzir ambos os problemas, eles tornam-se prioridades e devem ser os primeiros a ser pesquisados, pois nesta situação os problemas podem ser eliminados com o reparo de apenas um único componente. No caso de 3 problemas, a maior prioridade deve ser dada aos componentes que afetam os 3 problemas (HALASZ et al., 1998). Percebe-se então que a tarefa de diagnóstico é essencialmente investigativa.

2.14 Perspectivas futuras e tendências dos sistemas especialistas

Ao contrário dos primeiros SE que funcionavam isoladamente, a tendência atual é integrar SE em pacotes, como aconteceu com o DENDRAL. Outro ponto que está recebendo bastante atenção dos desenvolvedores é a melhora da interface. A possibilidade de integração com a Internet é algo que não pode deixar de ser citada, dada a sua crescente importância no cenário mundial.

Com a difusão dos chamados *shell*, deve aumentar a quantidade de SE produzidos e com as técnicas de modelagem orientadas a objetos, a complexidade de um sistema passa a não depender mais da quantidade de regras.

Outro ponto que não pode passar despercebido é que, embora ainda seja necessário um *staff* razoável, a quantidade de pessoas envolvidas e o tempo de desenvolvimento de SE estão diminuindo. A Figura 2.7 apresentada por DURKIN (1994) comprova esta afirmativa.

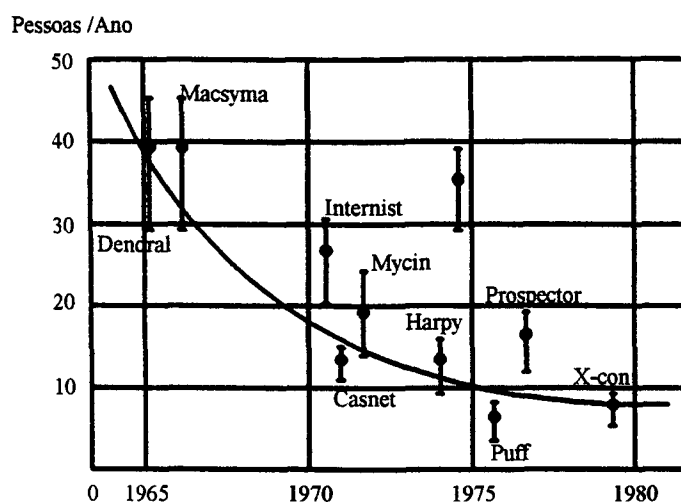


Figura 2.7 – Tempo de desenvolvimento para alguns projetos de sistemas especialistas (DURKIN, 1994)

2.15 – Considerações finais

SE representam o resultado de uma longa busca pelo desenvolvimento de máquinas que possam apresentar um comportamento inteligente. Neste contexto, a invenção do computador foi muito importante, pois é através deste equipamento que uma inteligência considerada artificial pode se manifestar.

Entretanto, apesar de todo desenvolvimento tecnológico, tanto na área de *hardware* como na área de *software*, foi somente por volta da década de 70, e provavelmente devido ao projeto DENDRAL, que pesquisadores em IA perceberam que para tornar um computador inteligente, não era necessário desenvolver programas capazes de resolver uma vasta gama de problemas, mas sim programas que contivessem conhecimento específico de qualidade sobre um assunto específico. Tais programas passaram a ser conhecidos como SE.

Inicialmente desenvolver um SE não era uma tarefa considerada científica dada à grande quantidade de empirismo. Com o passar do tempo e devido ao sucesso obtido, passaram a ser mais estudados e reconhecidos. Cabe mencionar que o SE resultado do projeto DENDRAL teve resultados seus publicados em conferências científicas.

O conceito, a estrutura e os elementos de um SE já indicam que o seu desenvolvimento transcende a construção de um programa de computador capaz de executar bem algumas tarefas. O conhecimento que os SE manipulam, de natureza simbólica, incerto e restrito a algumas poucas pessoas ratifica esta afirmativa.

Apesar de todo o progresso que vem sendo feito nesta área, o fato de ainda não se conhecer exatamente como o cérebro trabalha, faz com que mesmo nos dias de hoje o desenvolvimento de SE seja composto por algumas tarefas empíricas.

SE não podem ser vistos como produtos que tenham um único processo de desenvolvimento, mas sim ferramentas extremamente poderosas que materializam o esforço intelectual de uma equipe no entendimento de um problema específico.

CAPÍTULO 3

MANUTENÇÃO NAVAL E SISTEMAS HIDRÁULICOS

3.1 Conceitos básicos

A manutenção reflete o avanço tecnológico de uma época. A sua evolução se deve em grande parte ao aumento da necessidade de prevenção da falha, cuja consequência pode ir além da simples parada do equipamento ou sistema. A sua importância cresce na mesma proporção que aumenta a exigência de se produzir mais e/ou melhor com cada vez menos recursos.

O termo manutenção teve origem no vocábulo militar cujo objetivo era manter nas unidades de combate, o efetivo e o material em um nível constante (MONCHY, 1989). Ao longo do tempo, esta atividade foi sendo mais estudada e hoje desempenha uma função estratégica na maioria das organizações industriais.

TESDAHL ([http:// www.sprucenet.com/pdtmtc](http://www.sprucenet.com/pdtmtc)) em seu artigo *Equipment Management Breakthrough Maintenance Strategy for the 21st Century*, cita que a maior lição das organizações para o séc. XXI é a integração da manutenção às metas da organização como condição básica para uma manutenção efetiva.

Atualmente, a norma brasileira NBR-5462/1994 (ABNT, 1994, p.5) define manutenção como sendo “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. É importante destacar que a norma define item como sendo “qualquer parte, conjunto, dispositivo, sub-sistema, unidade funcional equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente”.

Segundo diversos autores, a manutenção pode ser dividida em duas grandes classes principais. BLANCHARD e FABRYCKY (1990) classificam estas duas categorias, como sendo corretiva e preventiva. BILLINTON e ALLAN (1983) reafirmam este conceito e além da classificação acima, enumeram algumas das atividades típicas de cada categoria. MONCHY (1989) expressa a opinião de que a função manutenção pode ser realizada por dois métodos distintos e complementares: método preventivo e método corretivo.

A diferença básica entre ambas é que a manutenção corretiva envolve ações não planejadas, enquanto a manutenção preventiva envolve ações planejadas, realizadas antes da falha ocorrer.

As ações corretivas são realizadas após a ocorrência da falha, em uma situação que pode gerar prejuízo à produção, ao equipamento e/ou à segurança. Tem caráter predominantemente eventual, o que dificulta o seu planejamento. Deve-se ressaltar porém, que este tipo de intervenção pode e deve fazer parte da política de gestão da manutenção existente em qualquer sistema. Em certos casos, quando estes tipos de ação são mantidos em determinados níveis ou percentuais representa inclusive uma boa opção de gestão.

BILLINTON e ALLAN (1983) citam que a manutenção preventiva é realizada para manter a função do equipamento ou sistema em condições compatíveis com o nível requerido de desempenho e confiabilidade. Segundo MONCHY (1989), é uma intervenção prevista, preparada e programada. Segundo SMITH (1993), o que distingue esta ação é o planejamento antecipado. Dentre tais tarefas podem ser citadas: regulagens, ajustes, lubrificações, inspeções e troca de componentes.

A Figura 3.1 apresentada por MONCHY (1989), expressa de forma clara e detalhada como ocorrem as intervenções nestas duas principais categorias da atividade de manutenção.

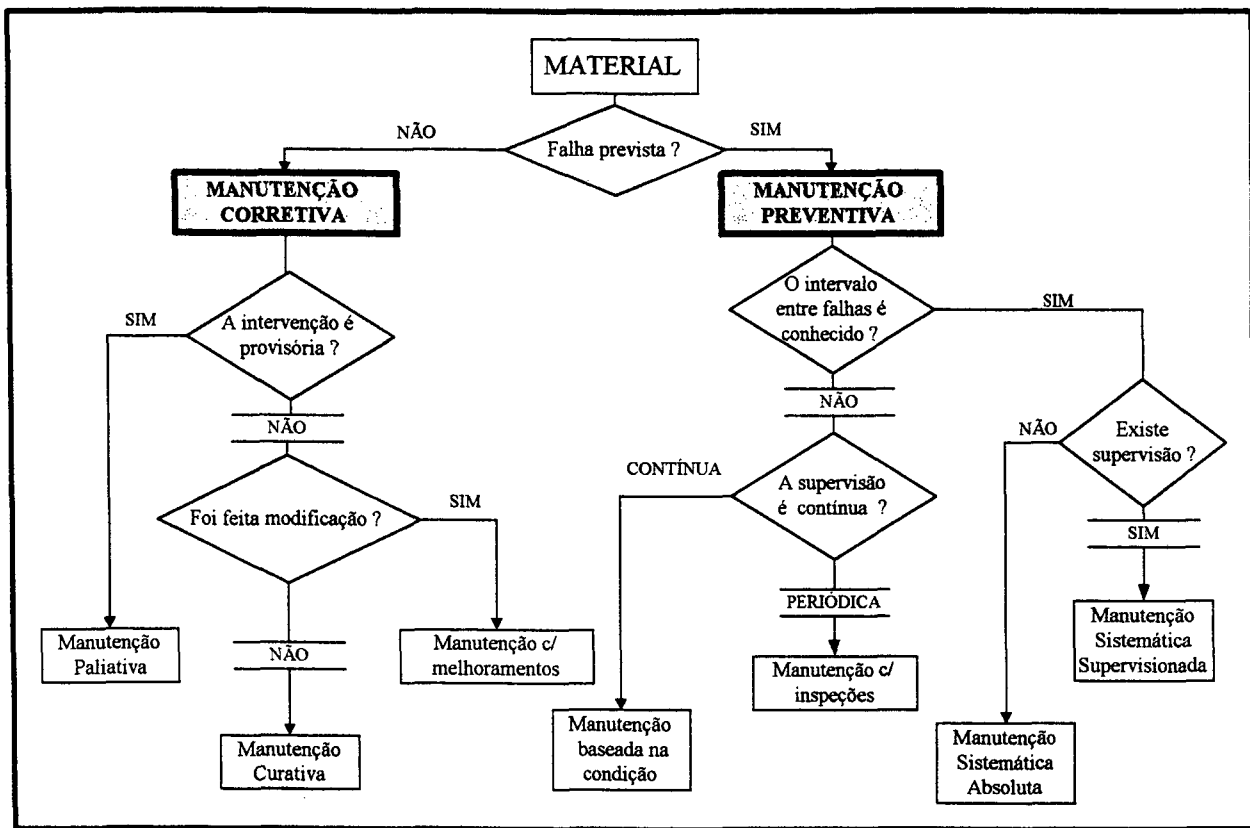


Figura 3.1 - Fluxograma da manutenção (MONCHY, 1989)

Os pontos apresentados acima formam a base para o entendimento dos novos métodos e técnicas que recentemente têm surgido. Segundo MOUBRAY (1997), o crescimento da automação e da mecanização têm transformado os conceitos de disponibilidade, confiabilidade, segurança e produtividade em pontos chave para as organizações industriais.

Segundo a norma brasileira NBR-5462/1994 (ABNT, 1994, p.2) “disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos requeridos estejam assegurados”.

Segundo O’CONNOR (1985), “confiabilidade é o estudo sobre as falhas que podem ocorrer com o sistema durante o seu ciclo de vida, ou seja, não é um simples cálculo da taxa de falhas ou da probabilidade de um sistema ou componente falhar, mas sim a procura, análise avaliação e correção de todas as falhas que podem ocorrer com o produto no seu ciclo de vida”.

Para BAZOVSKY (1961), segurança seria por sua vez, simplesmente a probabilidade de que nenhum acidente causado por falhas do próprio sistema ou mal funcionamento dos componentes venha a ocorrer. A definição acima permite tratar segurança como o nível de probabilidade de que certas funções irão ser executadas.

Entende-se como produtividade a capacidade de produzir mais e/ou melhor com cada vez menos. Pode-se quantificar a produtividade, como sendo a relação entre o que a empresa produz, e o que a empresa consome.

Segundo MATOS (1999), duas estratégias de gerenciamento da manutenção vem num crescente uso: Manutenção para a Produtividade Total (TPM) e a Manutenção centrada na Confiabilidade (RCM). Pode-se dizer que o alicerce destas estratégias baseia-se nos conceitos apresentados acima.

A TPM visa integrar todos os participantes do sistema de produção às metas de manutenção, buscando romper com a tradicional relação “eu opero, você conserta”. A RCM é uma estratégia que visa manter a confiabilidade do sistema, seja ele qual for, a um custo compatível e tem como objetivo principal preservar a função do sistema.

Ambas as estratégias se baseiam em tarefas pró-ativas, ou seja, tarefas que têm o objetivo não só de evitar o surgimento do problema, mas também de antecipar-se a ele da forma mais eficiente e participativa possível.

Devido à grande utilização do termo sistema, faz-se necessário conceituá-lo formalmente. Neste trabalho, emprega-se a definição apresentada em HUBKA e HEDER (1988), a qual estabelece que “sistema é um conjunto finito de elementos reunidos para formar um todo, sob certas regras bem definidas, por meio das quais existem determinadas relações precisas definidas entre os elementos e para com seu ambiente. É possível que um sistema possa conter elementos isolados (com nenhuma relação com outros elementos) ou grupos isolados de elementos (grupos que não têm relações com outros elementos ou grupos dentro do conjunto). Os termos elemento e sistema são relativos. Um elemento também pode ser considerado como sistema, e um sistema pode ser considerado como elemento dentro de um sistema maior”.

3.2 Manutenção naval

Antes de iniciar a apresentação sobre manutenção naval, é importante expor que nesta atividade, o sistema considerado é o navio, e o objetivo é mantê-lo pronto para utilização no momento oportuno, dentro das suas características de projeto e da maneira mais econômica possível.

Além de o navio ter uma vida útil bastante longa, o mesmo é projetado para executar tarefas cujas durações podem envolver períodos relativamente longos de tempo. O transporte de grãos entre Brasil e Japão, quando feito por mar, é uma viagem cuja duração é de alguns meses. Estes fatos expõem a principal questão com que se depara a manutenção naval; como garantir que o navio opere com segurança e tenha confiabilidade durante toda sua vida útil.

Conforme apresentado por DIAS (1999), embora tenham conceitos diversos, segurança e confiabilidade são termos que algumas vezes são usados sem a devida distinção. Em termos práticos, assume-se que confiabilidade está associada ao número de vezes que o sistema está pronto para desempenhar a função para o qual foi projetado, dividido pelo número de vezes que foi solicitado.

Entretanto deve-se ter bastante cuidado ao utilizar este raciocínio, pois se um determinado sistema tem confiabilidade de 99 %, e isto é válido apenas para determinadas condições (isenção de poeiras, umidade e etc.), então deve-se considerar que se uma destas condições variar, normalmente a confiabilidade do sistema também varia (VOLLERTT, 1996).

Já o termo segurança está diretamente ligado a não ocorrência de acidentes, quaisquer que sejam eles. Na área naval, ambos têm em comum a meta de evitar a falha.

Confiabilidade também pode ser entendida como a probabilidade de um sistema completar com êxito uma determinada missão (MOSS, 1985), podendo ser calculada pela expressão (3.1):

$$R(t) = \int_{t_1}^{\alpha} f(t) dt \quad (3.1)$$

A equação (3.1) representa a equação geral de confiabilidade, onde $f(t)$ representa a função densidade de probabilidade de falha do sistema que está sendo analisado.

Quando se considera a distribuição exponencial e a taxa de falhas (λ) constante, a equação (3.1) pode ser escrita na forma apresentada a seguir:

$$R = e^{-\lambda t} \quad (3.2)$$

A equação (3.2) parte do princípio de que todo sistema tem uma taxa de falhas (λ) constante que pode ser mapeada (MOSS, 1985). Na área naval porém nem sempre é fácil conseguir registros históricos, pois como já citado no capítulo 2, existe uma comprovada dificuldade das empresas em documentar e rastrear este tipo de informação.

Continuando a análise da equação (3.2), percebe-se também que a confiabilidade é um parâmetro quantitativo que varia com o tempo, ou mais precisamente, diminui com o tempo.

A questão com a qual se depara a manutenção naval, faz prevalecerem das ações apresentadas na seção 3.1, as preventivas, ou seja, sempre é realizada manutenção após um determinado período de utilização. Isto possibilita dividir a vida útil de um navio em períodos de disponibilidade e de indisponibilidade.

Períodos de indisponibilidade são aqueles nos quais estão sendo executados serviços que impossibilitam o sistema de cumprir a tarefa para o qual foi projetado. A Figura 3.2 ilustra o que foi apresentado.

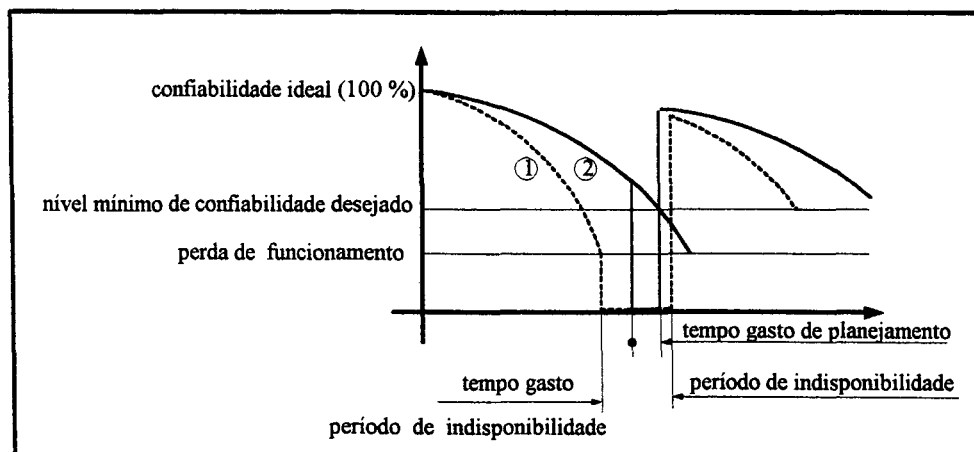


Figura 3.2 - Planejamento da manutenção

No caso da Figura 3.2, a curva 2 para ser realmente eficaz pressupõe a utilização de informações sobre taxa de falhas dos componentes, ou seja, a medida que problemas vão ocorrendo, fazem-se cálculos de confiabilidade que apontam para uma decisão.

Os Períodos de Manutenção (PM) pelos quais os navios passam periodicamente durante a sua vida útil são baseados em critérios pré-estabelecidos e têm como objetivo principal otimizar a disponibilidade e a confiabilidade do meio flutuante. Este objetivo é alcançado na medida que ações planejadas evitam o aparecimento de falhas ou detectam o surgimento destas.

SMITH (1993) cita que mesmo nos casos em que não é possível prevenir ou detectar falhas, a política de manutenção preventiva pode implementar testes para verificar a possibilidade da ocorrência da falha antes do equipamento ou sistema entrar em operação.

Em termos práticos, pode-se dizer que disponibilidade é a probabilidade de um sistema (máquina ou equipamento) estar produzindo ou disponível para produzir e pode ser calculada pela expressão abaixo:

$$\text{Disp} = \frac{\text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}} \quad (3.3)$$

Para um bom entendimento da expressão (3.3) faz-se necessário definir os termos TMEF e TMPR.

TMEF é a esperança matemática do tempo entre falhas de um sistema. Para o caso de λ constante, o TMEF é a medida inversa $\left(\frac{1}{\lambda}\right)$, ou seja, o tempo médio de operação por falha. Este raciocínio é válido desde que as mesmas considerações feitas para a equação (3.2) permaneçam. Como TMEF representa um valor médio, não significa necessariamente que depois de passado este tempo, o sistema irá falhar. Também não deve ser confundido com o ciclo de vida do sistema.

TMPR representa o tempo médio para restabelecer o sistema às condições próprias à operação. Segundo MOSS (1985), os cálculos para obtenção deste valor (TMPR) não são tão simples quanto o apresentado para o cálculo do TMEF. A dificuldade está na obtenção da ponderação correta da frequência de ocorrência com a qual espera-se ocorrer a necessidade da tarefa de reparo durante o ciclo de vida do sistema.

A diminuição da disponibilidade traz como consequência imediata a perda de rendimento operacional do sistema em virtude da parada de itens, aumento de custos de manutenção e até o comprometimento da segurança em decorrência de falhas prematuras (DIAS e SANTOS, 1999).

É importante perceber que os conceitos citados acima não devem ser analisados isoladamente. Isto porque não basta o sistema ter um alto índice de confiabilidade, pois uma vez que surja a falha, na grande maioria das vezes é necessário pô-lo novamente em condições normais de operação o mais rápido possível.

Por exemplo, se uma bomba hidráulica necessita ter uma disponibilidade de 90 % , isto pode ser obtido com um TMEF de 90 h e um TMPR de 10h ou com um TMEF de 45 min e um TMPR de 5 min. É fácil perceber que embora com uma disponibilidade de 90 % , a bomba hidráulica do segundo exemplo iria causar sérios transtornos à operação do sistema no qual está inserida. O exemplo apresentado acima mostra que é importante manter a coerência entre confiabilidade e disponibilidade.

Para atingir o objetivo citado anteriormente de manter o navio disponível para operar com confiabilidade e segurança, os serviços de manutenção naval são divididos em níveis ou escalões. Este fato se deve à diversidade dos serviços a serem executados e dos recursos de material e de pessoal necessários.

Os serviços de 1º escalão são normalmente de pouca complexidade e realizados pela própria equipe de bordo que opera o navio. Seguem instruções pré-determinadas em manuais técnicos e não requerem ferramentas especiais ou equipamentos de teste. Como exemplos típicos de serviços de 1º escalão na área de hidráulica cita-se a troca de filtros.

Serviços como troca de rolamento de bombas e troca de componentes internos de certas válvulas, por serem mais complexos, são considerados de 2º escalão e necessitam ser realizados por organizações industriais especializadas (estaleiros) que possuem em seus quadros pessoal técnico qualificado.

Já os serviços de troca de elementos de vedação de cilindros hidráulicos por requererem conhecimento, pessoal ou instalações específicas, são considerados de 3º escalão. Estes serviços são executados pelo fabricante ou em parques industriais específicos credenciados. O limite entre os serviços de 2º e 3º escalão não é bem definido e varia conforme circunstâncias específicas.

3.2.1 Métricas da manutenção naval

Da mesma forma que em outras áreas, o que se deseja na área naval é concluir o período de manutenção do sistema, seja ele qual for, no menor espaço de tempo possível. Para que isto ocorra, diz-se que o sistema deve ter uma alta manutenibilidade.

Conforme a norma brasileira NBR-5462/1994 (ABNT, 1994, p.3), manutenibilidade pode ser entendida como sendo “a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos específicos”.

Ou conforme apresentado por MATOS (1999), é o conjunto de parâmetros de projeto que proporcionam a habilidade de um sistema ser mantido.

Existem diversos parâmetros (qualitativos e quantitativos) que, coletados junto à manutenção, podem ser usados para a avaliação da manutenibilidade de um sistema. Para facilitar a explanação e seguindo a classificação adotada por BLANCHARD et al. (1995), estes parâmetros estão sendo divididos em grupos, que a partir de agora estarão sendo chamados de fatores. Serão apresentados os de maior relevância para a área naval, quais sejam: fatores de confiabilidade, de manutenibilidade, de disponibilidade, humanos, de suporte logístico e fatores econômicos.

3.2.1.1 Fatores de confiabilidade

A frequência com que um sistema passa por intervenções de manutenção está diretamente ligada aos fatores de confiabilidade. Neste grupo, as medidas mais comuns são a taxa de falhas (λ) e o tempo médio entre falhas (TMEF). Outra medida importante, e que frequentemente é confundida com TMEF é TMPF, que é uma medida mais adequada a sistemas não reparáveis, como por exemplo, aqueles que contém componentes eletrônicos.

A validade da análise de confiabilidade está diretamente ligada à legitimidade do conjunto de amostras que representam a realidade do comportamento das falhas (DIAS, 1996).

SANNEMANN (1997), afirma que seja qual for a filosofia de manutenção adotada, as informações obtidas a partir do registro de dados históricos de equipamentos têm uma importância fundamental. No entanto admite serem observadas várias dificuldades para compor este conjunto de informações, o que resulta muitas vezes em históricos pouco confiáveis.

3.2.1.2 Fatores de mantenedibilidade

A mantenedibilidade é freqüentemente medida em termos do tempo requerido para realizar a tarefa de manutenção. A Figura 3.3 apresentada por BLANCHARD et al. (1995) apresenta estes tempos.

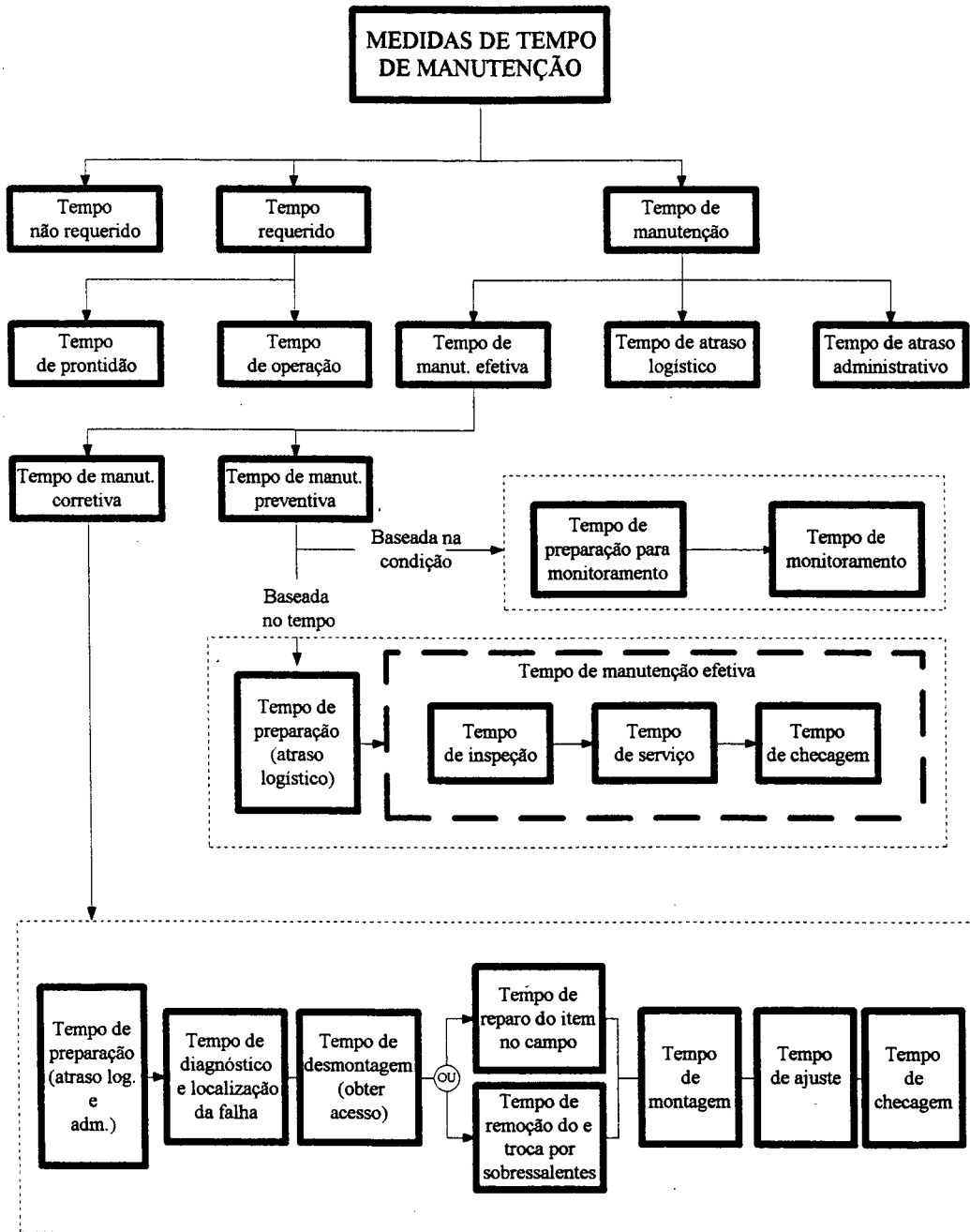


Figura 3.3 - Tempos de manutenção

Serão comentados a seguir os principais tempos da manutenção naval:

- TMMC (Tempo médio de manutenção corretiva): é o tempo necessário para restabelecer as condições normais de operação, uma vez surgida uma falha inesperada;
- TMMP (Tempo médio de manutenção preventiva): é o tempo necessário para a execução de atividades cujo objetivo é manter o sistema em um nível de desempenho desejado;
- $T_{med}MC$ (Tempo mediano de manutenção corretiva): corresponde a 50% dos maiores e menores tempos de intervenções corretivas;
- $T_{med}MP$ (Tempo mediano de manutenção preventiva): semelhante ao $T_{med}MC$;
- AA_{dm} (Atraso administrativo): tempo durante o qual uma intervenção de manutenção deveria estar sendo executada, mas não está devido a razões administrativas;
- AL (Atraso logístico): tempo durante o qual uma intervenção de manutenção deveria estar sendo executada, mas não está devido a falta de recursos, que não os administrativos e;
- TM (Tempo de manutenção): é a soma dos tempos totais requeridos para reparo e restauração. É função dos tempos médios de intervenções preventivas e corretivas.

3.2.1.3 Fatores de disponibilidade

Considera-se como principal medida de disponibilidade na área naval, a DO_p (disponibilidade operacional). Esta é a medida mais próxima da realidade, pois contempla tanto os tempos de atraso administrativo como os relativos a atraso logístico. Pode ser calculada pela expressão (3.4):

$$DO_p = \frac{TMEM}{TMEM + TEP} \quad (3.4)$$

Para um bom entendimento da expressão (3.4) faz-se necessário definir os termos TMEM e TEP.

TMEM representa a frequência de ações programadas ou não. Pode ser calculada pela expressão abaixo:

$$TMEM = \frac{1}{\frac{1}{TMEM_p} + \frac{1}{TMEM_c}} \quad (3.5),$$

onde o índice p representa preventiva e o índice c representa corretiva.

TEP representa a soma dos tempos totais requeridos para reparo e restauração. É normalmente expresso em valores médios e função dos tempos médios de manutenção corretiva e preventiva.

3.2.1.4 Fatores humanos

Dentre os diversos fatores humanos (antropométricos, fisiológicos e etc.) que influenciam a manutenibilidade de um sistema, são especialmente importantes os fatores psicológicos (atitude de resposta, iniciativa e comportamento), principalmente quando se trata da adoção de novas técnicas ou ferramentas tais como SE.

No contexto tradicional da manutenção naval, a tripulação tem que interagir com técnicos de manutenção para resolver problemas que surgem nos PM. Estes problemas estão principalmente relacionados com informação técnica, por exemplo sobressalentes, sintomas de equipamento, ações de manutenção corretas e etc.

Cabe neste ponto apresentar pesquisa citada em SMITH e FARQUHAR (2000), que aponta como principal impedimento para se transferir conhecimento a cultura corporativa da organização industrial. Cita também que a principal dificuldade para administrar o conhecimento de uma organização industrial é a mudança de comportamento das pessoas.

3.2.1.5 Fatores de suporte logístico

Os fatores de suporte logístico incluem como medidas principais as medidas de suprimento, de equipamento de suporte e de testes, de transporte e manuseio e as medidas de documentação.

As medidas de suprimento são aquelas que influenciam a duração e eficácia das intervenções programadas ou não, na medida que são afetadas pela capacidade de fornecimento de sobressalentes. Estas medidas são de fundamental importância na área naval, dada à quantidade de interferências presente nos PM dos navios.

As medidas de equipamento de suporte e testes, referem-se à disponibilidade e quantidade mínima destes equipamentos para assegurar uma manutenção eficaz.

As medidas de transporte e manuseio também são importantes e referem-se à necessidade de trânsito de material e de pessoas entre os vários locais de operação e instalação, envolvendo assim o deslocamento de equipes e recursos para a realização das tarefas de manutenção. Tais

medidas não podem ser desconsideradas em função da grande área que normalmente os estaleiros ocupam e da longa duração dos PM.

As medidas de documentação referem-se entre outras coisas às atualizações de procedimentos técnicos, desenhos e etc. que, quando não executadas corretamente, podem causar atrasos bastante significativos.

3.2.1.6 Fatores econômicos

Fatores econômicos são aqueles fatores responsáveis pela definição dos custos de manutenção de um sistema. Na maioria das vezes, estes fatores acabam tendo o peso maior nas decisões tomadas.

3.2.2 A hidráulica no contexto da manutenção naval

Durante os PM e devido à diversidade tecnológica existente no navio, atividades de diferentes áreas de conhecimento são desenvolvidas. A hidráulica, em função das características abaixo:

- facilidade para obtenção de grandes forças de forma eficiente;
- facilidade de controle, pois através de alavancas manuais e botões consegue-se posicionar com precisão cargas da ordem de toneladas;
- boa proteção contra excesso de carga;
- ótima relação peso x potência se comparada com equipamentos elétricos similares e
- simplicidade, pois em geral sistemas hidráulicos utilizam menos componentes móveis do que sistemas elétricos ou mecânicos similares (ESPOSITO, 2000),

é utilizada como meio de transmissão de potência em praticamente toda a extensão do navio, seja ele de pequeno porte ou não, militar ou mercante, o que faz esta área de conhecimento ter uma grande importância para a manutenção naval.

Além dos fatores apresentados acima, deve-se considerar que, em função do ambiente em que o navio opera, é importante manter um isolamento eficiente contra água salgada, o que nem sempre é fácil de se conseguir com outras tecnologias.

Ilustradas na Fig. 3.4 (JICA, 1991) e listadas a seguir, estão algumas aplicações típicas da hidráulica em um navio.

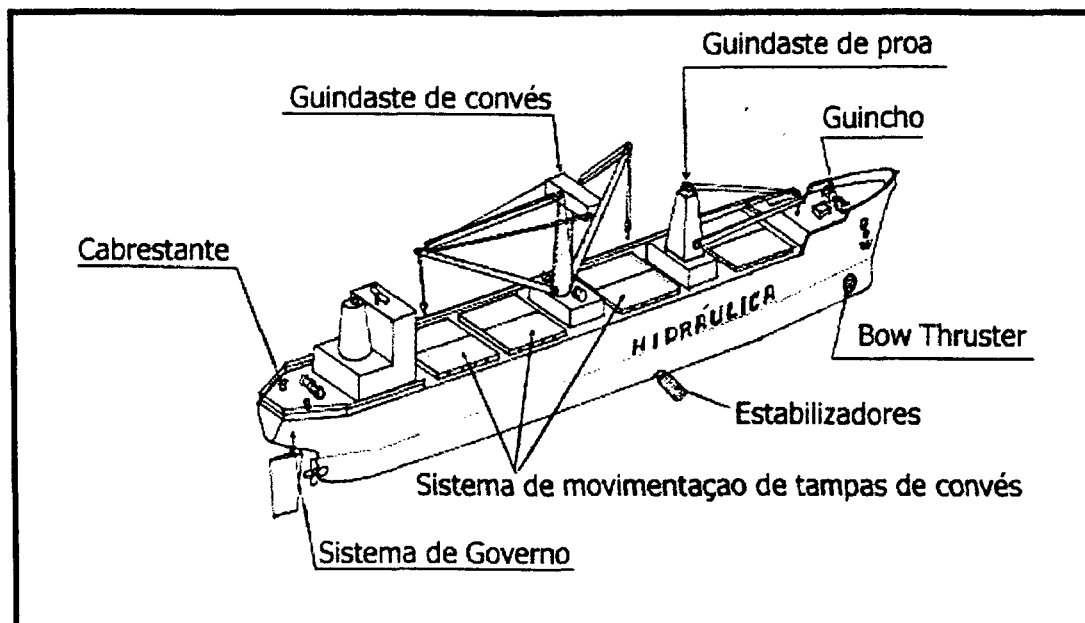


Figura 3. 4 - Sistemas hidráulicos típicos de um navio (JICA, 1991)

- **guindaste de proa**: equipamento responsável pela movimentação de carga na proa do navio;
- **guindaste de convés**: equipamento com finalidade semelhante à do guindaste de proa;
- **sistema de movimentação de tampas do convés**: responsável pela abertura e fechamento das tampas do convés; tem grande aplicação em navios mercantes;
- **máquina de suspender ou guincho**: sistema responsável pelo lançamento e recolhimento do ferro (âncora) do navio;
- **cabrestante**: sistema responsável pelo controle da amarração e a manutenção da posição do navio no porto ou no cais;
- **sistema de governo**: responsável pelo acionamento do leme;
- **bow thruster**: sistema que aciona um pequeno propulsor, normalmente localizado na proa, cuja função é aumentar a manobrabilidade do navio, quando ele está atracando e
- **estabilizadores**: elementos localizados nos bordos do navio, cuja função é diminuir o balanço (banda), por ocasião de mar agitado.

Apesar de todas as vantagens apresentadas, sistemas hidráulicos também apresentam desvantagens. Uma delas é o crescente problema com que se deparam os usuários deste meio de transmissão de potência: a escassez de profissionais com domínio de manutenção, o que acaba gerando paradas longas e por vezes desnecessárias do sistema, com conseqüente custo adicional por perda de produção bastante significativo em alguns casos (DOORLEY, 1989). Conforme já exposto no capítulo 2, também na área de hidráulica a variável anos de experiência é um dos fatores que mais influencia na habilidade de resolução de problemas.

O desenvolvimento e manipulação da informação, geração de hipóteses e familiaridade com o sistema e/ou equipamento são algumas qualidades que somente podem ser desenvolvidas com anos de experiência. Existem contudo, outras qualidades tais como: conhecimento técnico e pensamento crítico, que também são necessárias ao profissional de manutenção e que dificultam ainda mais a formação de profissionais hábeis na tarefa de diagnóstico de falhas em sistemas hidráulicos navais (ALVES e SILVA, 2000).

3.3 Manutenção de sistemas hidráulicos

Embora os sistemas hidráulicos tenham boa confiabilidade e pareçam visualmente robustos, na realidade são sensíveis. Um dos fatores mais prejudiciais ao seu bom funcionamento é a contaminação do óleo. Os contaminantes podem ser constituídos de sólidos, líquidos, gases ou combinação destes, sendo que os sólidos insolúveis como areia, poeira e partículas de metal são os mais prejudiciais.

Com o desenvolvimento tecnológico, cada vez mais diminuem as tolerâncias na fabricação dos elementos móveis que constituem os componentes hidráulicos. Pequenas partículas sólidas podem em pouco tempo danificar estes elementos causando falhas prematuras em bombas ou solenóides.

Isto faz, durante o período normal de operação, um sistema hidráulico apresentar normalmente sinais que, se a princípio não indicam problemas, não podem deixar de ser levados em consideração. Segundo MITCHELL e PIPPENGER (1997), muitas das vezes tais sinais são a forma mais eficiente para se determinar a origem de problemas posteriores. Esta informação é bastante valiosa para os técnicos que irão realizar futuras manutenções no sistema, sejam elas planejadas ou não. Esta observação é especialmente importante na área naval devido ao fato de o ambiente no qual o navio opera variar bastante. Segundo NAKAJIMA apud SANTOS (1995), quebras ocorrem devido à incapacidade do homem em perceber as causas que influem no

processo de degradação, pois as mesmas acabam tornando-se claras somente após a ocorrência da quebra.

3.4 Falha em sistemas hidráulicos

Antes de se falar em falha é importante entender o significado do termo função. Função pode ser entendida como sendo a tarefa que o sistema deve executar. A função é normalmente descrita por um verbo acrescido de um complemento. Cita-se como exemplo a função do sistema hidráulico de governo: acionar o leme do navio.

Arranjo funcional é outro conceito importante, pois representa a forma como um conjunto de itens está organizado em um sistema, considerando que este sistema tem uma função específica (DIAS, 1996). A importância deste conceito deve-se ao fato de que é possível melhorar a confiabilidade de um sistema modificando o seu arranjo funcional.

Com isso surgem os conceitos de redundância ativa e passiva. O primeiro representa um arranjo no qual todos os itens estão em atividade continuamente conectados. Quando ocorrer a falha de um item, outro assume imediatamente a função, de modo a não comprometer a função básica do sistema. Já no segundo arranjo, também conhecido como *stand-by*, existe um elemento externo, denominado de comutador, que aciona a atuação do item reserva. Ambos têm como finalidade manter a função do sistema inalterada.

Na área naval, cita-se como exemplo o próprio sistema de governo do navio. A preocupação em prevenir a falha deste sistema é tal, que o mesmo é projetado para operar com duas unidades de força continuamente conectadas (redundância ativa) e uma unidade de emergência (redundância passiva).

Uma vez expostos os conceitos de função e arranjo funcional, é importante apresentar o conceito de falha. Conforme a norma brasileira NBR-5462/1994 (ABNT, 1994, p.3), falha é o “término da capacidade de um item em desempenhar a função para o qual foi projetado”. A falha tanto pode ser o colapso total do sistema, quando este deixa de operar por completo, como o desvio do ponto ou faixa desejada de operação. Neste caso, se a resposta do sistema está fora da faixa tolerada, o sistema está deixando de cumprir a sua função e por conseguinte falhou. As falhas podem ser classificadas de diversas maneiras. VOLLERT (1996) apresenta alguns desses critérios.

Um dos critérios mais comuns é a classificação segundo a sua ocorrência no ciclo de vida do sistema. A Figura 3.5 ilustra o que foi apresentado:

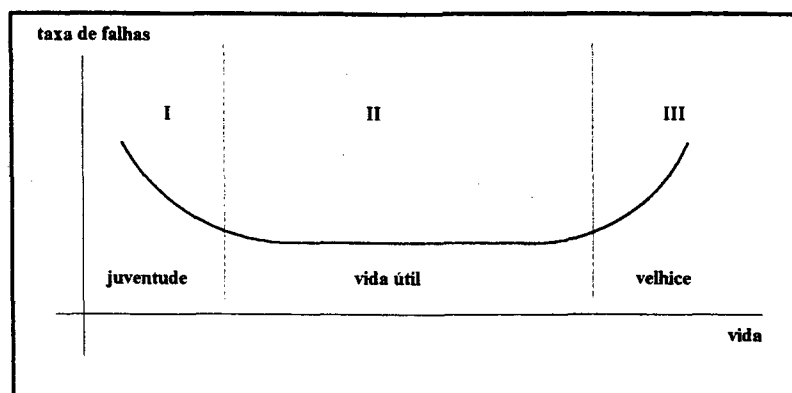


Figura 3.5 - Curva da taxa de falhas

No período I da Figura 3.5 ocorrem as denominadas falhas de juventude, que normalmente estão associadas a erros de projeto ou de fabricação, uma vez que raramente é feito um controle total dos itens produzidos. No período II, também chamado algumas vezes de vida útil as falhas ocorrem em uma taxa aproximadamente constante. No período III, caracterizado por forte influência da degradação, a taxa de falhas aumenta significativamente; são as chamadas falhas catastróficas.

Embora a curva da taxa de falhas apresentada na Figura 3.5 seja bastante citada na literatura, nem todos os equipamentos e/ou componentes seguem os princípios apresentados acima. SMITH (1993) cita que o estado da arte não está suficientemente desenvolvido para prever quais os mecanismos de falha estão envolvidos e quando eles podem vir a ocorrer, e que a aplicação eficiente desta curva pressupõe uma boa coleta de dados históricos de equipamentos ou sistemas.

A importância desta afirmativa reside no fato de que não basta selecionar tarefas de manutenção preventiva baseadas somente na idade do sistema. MITCHELL e PIPPENGER (1997), especialistas em hidráulica e autores de um dos poucos livros que tratam exclusivamente sobre diagnóstico de falhas em sistemas hidráulicos, cita que existem certas situações em que as observações pessoais são a única forma de se determinar parâmetros operacionais que permitem chegar à fonte de problemas.

MOUBRAY (1997) apresenta um estudo feito na aviação civil, no qual são apresentadas seis variações da curva da banheira. Nesta pesquisa foram caracterizados seis padrões diferentes de falha, o que reforça as considerações feitas nos parágrafos anteriores. O estudo está resumido nas curvas apresentadas na figura abaixo



O padrão A é muito semelhante ao apresentado na Figura 3.5.



O padrão B mostra um aumento constante ou lento da probabilidade de falha, terminando num período que é fortemente influenciado pela degradação.



O padrão C mostra um leve aumento da probabilidade de falha, mas sem a identificação do período de degradação.



O padrão D mostra uma baixa probabilidade de falha quando o sistema é novo, depois um rápido crescimento até se chegar em um nível constante.



O padrão E mostra uma probabilidade de falhas constante em todas as idades do sistema.



O padrão F começa com uma alta taxa de falhas quando o sistema é novo, para logo depois cair para uma probabilidade de falhas constante.

Figura 3.6 - Padrões variantes de falha (MOUBRAY, 1997)

Embora os padrões obtidos nas curvas apresentadas na Figura 3.6 não possam ser diretamente associados à área naval, MOUBRAY (1997) afirma que à medida que os sistemas vão se tornando mais complexos, os padrões apresentados nas curvas E e F vão se tornando mais frequentes.

Dada a grande quantidade de vezes que os termos defeito e pane/avaria são utilizados no cotidiano de quem lida com manutenção, será feita uma apresentação formal destes termos.

VILLEMEUR (1991) cita que existem situações, sempre geradas por uma falha, nas quais ocorre a inabilidade de um sistema em executar a função requerida. Esta situação é denominada de pane/avaria. Pane é um termo mais utilizado em sistemas elétricos/eletrônicos enquanto avaria está restrita a sistemas mecânicos. Convém ressaltar que na literatura em inglês, o termo usado para pane ou avaria é *fault*.

Defeito é outro conceito importante, e significa o desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos, ressalta-se que o defeito pode ou não afetar a capacidade do sistema executar a função para o qual foi projetado.

3.5 Técnicas de análise de falhas

Faz parte do propósito da manutenção não só retirar um material do estado de pane ou reparar um sistema avariado, mas também evitar a reaparição do defeito, daí o interesse pelas técnicas de análise que têm por objetivo identificar a causa das falhas (MONCHY, 1989).

Dentre as diversas técnicas existentes, destacam-se as seguintes:

3.5.1 Análise do modo e efeito de falhas (*FMEA- Failure Mode and Effect Analysis*)

FMEA é um método que tem por objetivo analisar e descobrir os potenciais modos de falha de um componente, os efeitos provocados no sistema, como corrigi-los ou suavizá-los. O material gerado pelo FMEA tem como objetivo auxiliar no prognóstico de falhas e no desenvolvimento de projeto de produtos, processos ou serviços. O seu uso busca evitar que problemas passados venham a ocorrer novamente. No contexto de SE, é um dos métodos utilizados como base para a inferência baseada em modelos (ATKINSON et al., 1992).

Para o completo entendimento do método é importante a diferenciação dos conceitos de modo de falha, efeito da falha e causa da falha.

Modo de falha representa um estado anormal de trabalho, no qual o componente em estudo deixa de executar a sua função ou desobedece as especificações de projeto. Em outras palavras significa as diversas formas através das quais o componente pode falhar. O modo de falha está diretamente ligado ao componente.

Já efeito da falha está vinculado ao sistema, e pode ser entendido como sendo a consequência de um determinado modo de falha. Na prática, é o que o usuário percebe como resultado do modo da falha.

Causa da falha é a descrição dos problemas que podem dar origem à falha, ou em outras palavras, a razão da existência da falha.

A análise feita pelo FMEA é denominada *bottom-up*, porque parte da análise dos modos de falhas dos componentes e estende-se até os efeitos causados no sistema, como pode ser visto na Figura 3.7.

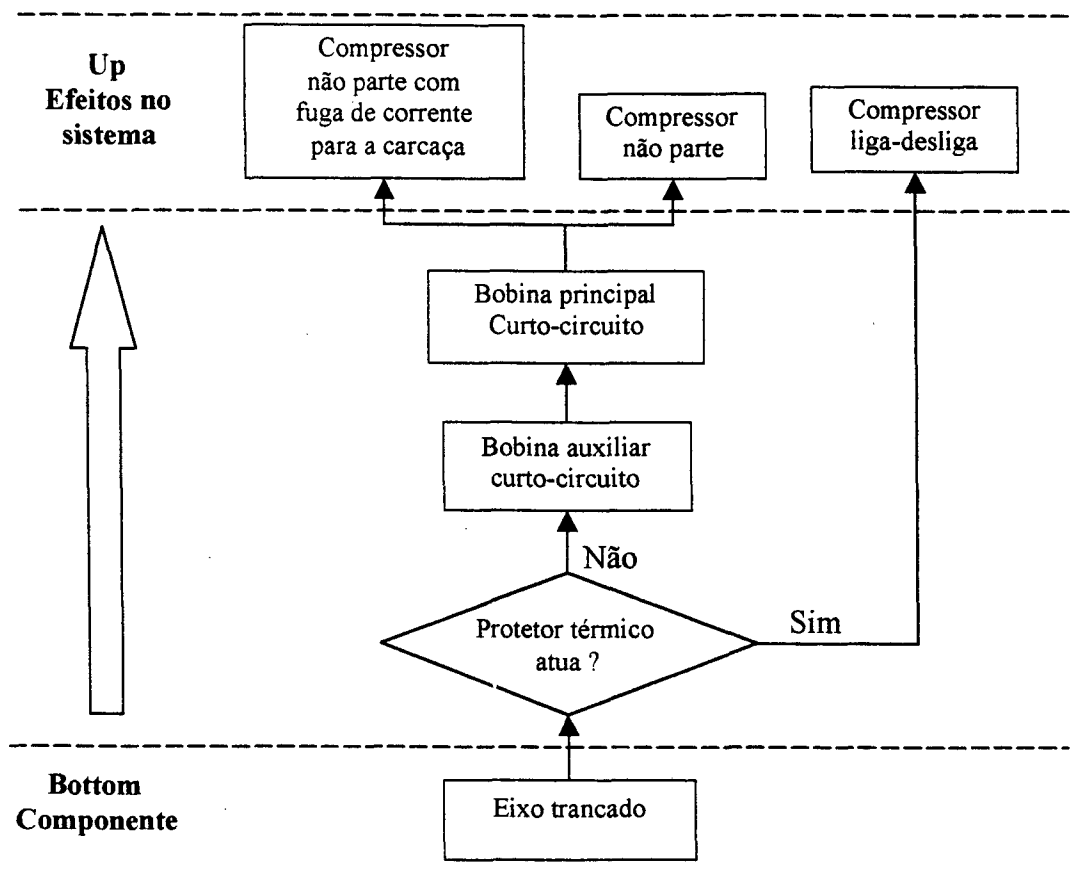


Figura 3.7 – Tipo de análise para FMEA - bottom-up - (SAKURADA, 2001)

A planilha apresentada no Anexo 1 representa um modelo típico para aplicação de FMEA. Quando utilizado na manutenção, o procedimento de execução do FMEA inicia pela definição do sistema que vai ser estudado e depois passa pela escolha das pessoas que comporão o time de trabalho. Esta etapa é importante, pois conforme mencionado anteriormente, sistema é um termo relativo, e que depende do contexto que está sendo empregado. Por exemplo, quando se deseja verificar a influência da bomba no sistema hidráulico de governo, faz-se FMEA deste sistema e a bomba, neste caso, é considerada um componente, funcionando como uma “caixa preta”, onde os seus componentes internos não serão levados em conta.

Após a definição do sistema, faz-se a coleta de informações. O uso de diagramas facilita a visualização da seqüência com que ocorrem os eventos e os relacionamentos entre os modos de falha.

Concluída esta etapa, faz-se o registro na planilha dos componentes e suas funções. Deve-se levantar os possíveis modos de falha de cada componente. A análise deve levar em consideração a função do componente e as especificações de projeto. Não se questiona se o modo de falha vai ou não vai ocorrer. Se o modo de falha for tecnicamente possível de ocorrer, ele deve ser levado em consideração.

Dificuldade adicional ocorre quando existem muitos componentes no sistema. Neste caso, deve-se racionalizar a análise e buscar os componentes que têm a maior probabilidade de falhar. Quando isto ocorre, normalmente a busca se inicia pelos componentes que têm a taxa de falha mais elevada, depois parte-se para os componentes novos, componentes que sofreram manutenção, e assim sucessivamente até concluir a análise dos possíveis pontos nevrálgicos do sistema. A heurística citada no capítulo 2 pode substituir a ausência de dados concretos de falhas. Após a explanação do método FMEA, nota-se a importância de registros históricos válidos para que ele seja realmente eficaz.

3.5.2 Análise de árvore de falhas (FTA- *Fault Tree Analysis*)

A análise da árvore de falhas foi desenvolvida por H. A. Watson dos Laboratórios *Bell Telephone* em 1961/62. Os primeiros artigos publicados foram apresentados em 1965 no Simpósio de Segurança patrocinado pela Universidade de Washington e *Boeing Company* (HENLEY E KUMAMOTO, 1981).

É uma abordagem tipo *top down*, que tem o seu início em um evento indesejável chamado evento de topo, tal como uma falha para, a seguir, determinar todas as maneiras pelos quais ela pode ocorrer. A análise tem por objetivo determinar como estes eventos de topo podem ser causados.

Neste método, uma condição de falha particular (evento de topo) é considerada e a partir disto a árvore é construída identificando-se as várias combinações que conduziram à falha em estudo. Ela é frequentemente usada como um método de avaliação qualitativa para auxiliar a compreensão de como um sistema pode falhar e que medidas podem ser usadas para superar as causas da falha. O método também pode ser usado para uma avaliação quantitativa, em que as causas da falha do sistema são gradualmente separadas em um aumento do nível hierárquico até alcançar um nível, no qual os dados de confiabilidade são suficientes ou precisos para ser feita uma avaliação quantitativa. Os dados apropriados são então inseridos na árvore neste nível hierárquico e combinados usando a lógica da árvore para dar a confiabilidade do sistema que está sendo estudado (BILLINTON e ALLAN, 1983). Para mostrar a estrutura da árvore de falhas, é apresentada a Figura 3.8 como exemplo.

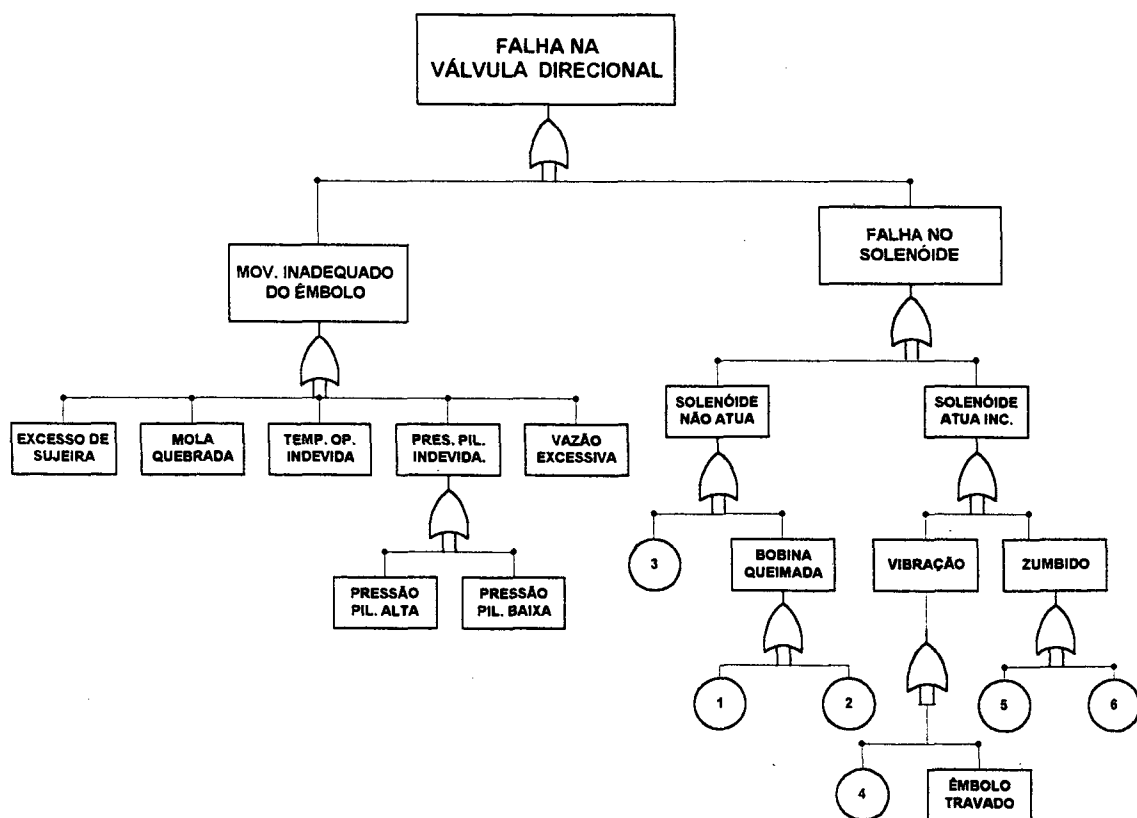


Figura 3.8 - Árvore de falhas para falha em válvula direcional

Observando a Figura 3.8, percebe-se que a falha do sistema é apresentada no alto da árvore de falhas (evento de topo), limitada por um retângulo. Os eventos intermediários também são representados por retângulos, enquanto as causas raízes ou primárias são limitadas por círculos. Todos os eventos são relacionados por portas lógicas, sendo as mais usadas as portas “e” e “ou”. A árvore de falhas apresentada na Figura 3.8 apresenta dois níveis hierárquicos e os eventos estão relacionados pela porta lógica “ou”.

Para o exemplo da Figura 3.8 a probabilidade de ocorrência do evento de topo, P_T , pode ser calculada da seguinte forma, (quando se conhece os valores de P_{T1} , P_{T2} , P_{T3} e etc.) :

$$P_{\text{Bobina queimada}} = P_T = P_{T1} \cup P_{T2} = P_{T1} + P_{T2} - P_{T1} \cdot P_{T2} \quad (3.6)$$

$$P_{\text{Solenóide não atuar}} = P_T \cup P_{T3} = P_T + P_{T3} - P_T \cdot P_{T3} \quad (3.7)$$

Na equação (3.6) utiliza-se o operador “união” (\cup) porque a porta lógica que relaciona os dois eventos é “ou”. Caso os eventos fossem relacionados por uma porta “e” seria usado o operador “interseção” (\cap).

A árvore de falhas é largamente utilizada para investigar a confiabilidade e segurança de sistemas complexos e para aplicações de diagnóstico. Se existe um modo de falha crítico, então todos as possíveis maneiras de que o modo de falha possa ocorrer podem ser descobertos quando se usa esta ferramenta.

Para se realizar FTA deve-se ter um entendimento total de como o sistema trabalha e conhecimento lógico dos relacionamentos no sistema (conexões, interfaces de controle, abastecimento de energia).

Para analisar um sistema pelo método da árvore de falhas, normalmente classifica-se a falha em três grupos:

- falhas primárias: são falhas funcionais claramente identificáveis para um equipamento que está funcionando dentro dos parâmetros de projeto. Como exemplo pode ser citada a ruptura de um reservatório devido à fadiga do material;

- falhas secundárias: são falhas devido ao excessivo *stress* ambiental ou operacional sobre o componente. Como exemplo pode ser citada a ruptura de um fusível devido a excesso de corrente e cavitação da bomba devido a entupimento do filtro da linha de aspiração e;
- falhas de comando: são falhas decorrentes da própria operação do componente, porém em lugar e momento inadequados. Frequentemente não são necessárias ações de reparo para retornar o componente à condição operacional. Como exemplo pode ser citado o aperto de um botão *reset* de um determinado sistema inadvertidamente pelo operador.

Segundo RAMAKUMAR apud MOJENA (1999), o procedimento básico para desenvolver uma árvore de falhas é o seguinte:

- 1) Identificar o evento indesejado, ou condição de falha, denominado *top event* para o sistema em análise;
- 2) Estudar e entender o sistema analisado, bem como a aplicação para o qual foi projetado;
- 3) Determinar as causas funcionais de ordem mais elevadas que podem causar a falha inicialmente identificada, assim como as relações lógicas de eventos de ordem inferior que podem resultar em eventos funcionais de ordem superior;
- 4) Construir a árvore de falhas utilizando o conjunto de blocos básicos de estruturas. Esta árvore ilustra graficamente as diferentes combinações e seqüências dos eventos que conduzem ao *top event*. Todas as entradas de falhas de eventos devem ser caracterizadas em termos de falhas básicas ou funcionais, independentes ou secundárias, e identificáveis ou de comando;
- 5) Estimar e reduzir a árvore de falhas qualitativamente ou quantitativamente, conforme desejado.

Na maioria das situações, são dois os símbolos básicos utilizados na construção de uma árvore de falhas: porta “e” (a saída ocorrerá se todos os eventos de entrada ocorrerem) e porta “ou” (a saída ocorrerá se um ou mais eventos da entrada vierem a ocorrer). A figura abaixo mostra a simbologia usada.

Pode-se dizer então que as principais etapas para se desenvolver uma árvore de falhas são:

- identificação do evento de topo a ser analisado;
- identificação dos eventos ou séries de eventos que contribuem diretamente para o evento de topo e

- continuação do processo até o nível mais baixo definido.

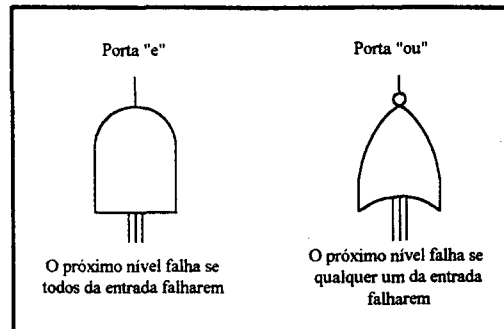


Figura 3.9 – Símbolos básicos para construção de uma árvore de falhas

Para construir a árvore de falha, trabalha-se numa ramificação de cima para baixo, a fim de explorar todas as combinações de eventos que podem resultar em falha (MOJENA, 1999).

Os FTA são usados para avaliar eventos potenciais de danos durante testes, construção e operação e podem ser utilizadas como auxílio na construção de SE de diagnóstico de falhas, pois auxiliam na identificação das causas de um modo de falha.

3.6 A importância do diagnóstico na manutenção

Antes de expor a importância do diagnóstico, é importante entender o significado do termo. Segundo MONCHY (1989), diagnóstico é a ação de identificar a causa da falha através de raciocínio lógico.

Diversos estudos mostram a importância do diagnóstico para a manutenção, dentre os quais apresenta-se alguns:

SEIXAS (1997) após diversas entrevistas com técnicos da área de manutenção, identificou diversos problemas que conduziam a altos tempos de reparo. Dentre eles estava presente diagnóstico de falhas.

MONCHY (1989) apresenta algumas considerações interessantes sobre a ação de diagnóstico, que são apresentadas a seguir:

- a falha ignora as fronteiras entre as diversas áreas de conhecimento (mecânica, hidráulica, eletrônica), nas quais geralmente separam-se os diversos investigadores;
- a separação entre “usuários e manutenção” faz diminuir em 50% a probabilidade de descoberta rápida de uma falha. Entende-se por usuários aqueles que teoricamente não têm a responsabilidade de manter o sistema por não estarem locados no Departamento de Manutenção da organização industrial e,
- dentro da ótica do crescimento da disponibilidade de um equipamento, “a velocidade de diagnóstico” é um critério de tempo importante.

DUNN (1997), no artigo *Best Practice Maintenance Strategies for Mobile Equipment* cita que a lógica de procura das falhas difere da lógica de funcionamento apresentada pelos fabricantes, pois os fabricantes e vendedores não sabem exatamente o que vai ser exigido do equipamento nem as condições em que ele vai operar. Além disso, deve-se considerar que uma das maiores fontes de lucros dos fabricantes vem da venda de serviços e de peças de reposição, o que por si só já é suficiente para causar um grande conflito de interesses entre clientes/usuários e fabricantes.

Os fatos mostram que apesar de todo desenvolvimento tecnológico, não se conseguiu ainda eliminar por completo a necessidade de serviços não planejados ou de caráter eventual em sistemas hidráulicos. Na área naval não é diferente e a manutenção corretiva ainda persiste. Cada vez que um sistema falha, é necessária uma série de passos para retorná-lo à sua condição de operação normal. Estes passos incluem diagnóstico, remoção do item defeituoso e recuperação. BLANCHARD e FABRYCKY (1990) apresentam um fluxograma que detalha o ciclo de manutenção corretiva.

Para um diagnóstico eficaz de avarias em uma instalação hidráulica naval, são necessários conhecimentos precisos da tecnologia e do funcionamento, tanto dos diversos componentes como da instalação completa (GÖTZ, 1991). Esta tarefa é facilitada quando se consegue interpretar corretamente diagramas de sistemas hidráulicos e desenvolver a lógica, pois, segundo KIAN e CHEONG, apud SILVA e CHEUNG (1997), o modelamento de um sistema hidráulico é facilitado na medida em que estes sistemas são basicamente definidos pelos seus componentes, cada um com a sua função específica. Pode-se dizer que a utilização das técnicas de análise de falhas citadas em 3.5 pode contribuir bastante para simplificar o processo.

O diagnóstico deve apoiar-se no diagrama do sistema e na documentação disponível sobre a instalação. A existência de sensores e de aparelhos de medição facilita bastante esta tarefa, entretanto a combinação de meios elétricos e hidráulicos, nos comandos eletro-hidráulicos dificulta o diagnóstico de avarias, requerendo uma colaboração franca entre os especialistas das áreas (ALVES e SILVA, 2000).

Dada a grande diversidade de sistemas, torna-se difícil encontrar fontes bibliográficas que sirvam como receituário geral aplicável ao diagnóstico de avarias em sistemas hidráulicos navais. Conforme já citado, (DUNN, 1997), mesmo a literatura técnica fornecida pelo fabricante não é de todo eficiente, o que faz as estratégias de manutenção serem diferentes.

Nesta matéria a experiência assume importância particular, o que pode gerar problemas, pois sabe-se que a formação de um profissional hábil em detecção de falhas em sistemas hidráulicos é lenta e cara, além de frequentemente ser necessária a presença do mesmo especialista em diferentes locais.

No contexto da manutenção naval, após a confirmação do diagnóstico, é realizado o reparo da avaria que, dependendo do escalão, é feita no local, a bordo do navio, ou quando isto não é possível, em oficina através da substituição dos componentes defeituosos. A recuperação destes é feita no fabricante, ou em oficinas credenciadas.

Embora o reparo esteja sendo associado a serviços não planejados ou de caráter eventual em sistemas hidráulicos, a importância deste serviço se estende por outras atividades. MONCHY (1989) cita que seja qual for o método de manutenção escolhido, chega-se sempre a um reparo:

- em manutenção corretiva, após eliminação da pane e
- em manutenção preventiva, após uma visita ou inspeção que mostrou a iminência de uma falha. A manutenção preventiva também depende em grande parte de diagnósticos ou de informações que possam descrever sintomas de problemas ocorridos, para ser bem sucedida. Conforme apresentado em 3.2.1.4, é grande a interação entre tripulação e técnicos de manutenção nos períodos de manutenção preventiva pelos quais passam os navios.

3.7 O papel dos sistemas especialistas na manutenção

Vários pontos devem ser observados quando se analisa o papel dos SE na manutenção. As principais questões são as que se relacionam com a manutenibilidade do sistema analisado ou modelado, pois o que se busca é ter o equipamento com rápida restauração de sua função após a ocorrência da falha, baixo custo de manutenção e menor número possível de ocorrências de falhas durante a sua vida útil.

Pelo apresentado até agora, fica claro que o diagnóstico cumpre papel de vital importância na atividade de manutenção de sistemas hidráulicos navais, e que um SE para apoio ao diagnóstico de falhas pode ser muito importante, pois disponibiliza parte do conhecimento de um especialista para o pessoal que opera o sistema, diminuindo a distância entre os que operam e os responsáveis pela sua manutenção.

Os SE ao desempenhar este papel podem influir positivamente na redução de alguns tempos de manutenção (TMMC, TMMP e TM). Isto ocorre, pois, ao solicitar de forma inteligente as informações mais convenientes para um diagnóstico correto, evita desmontagens precipitadas com conseqüentes paradas inoportunas.

Pode-se dizer que o apresentado por MENDES (1997), "... é uma eterna e penosa procura pelo que se deseja em meio a uma grande quantidade de informações emaranhadas." é um retrato do dia a dia do profissional que trabalha com manutenção de sistemas complexos, como o navio.

Os SE também influem positivamente nos fatores de suporte logístico, pois ao apresentar procedimentos e precauções, colaboram para diminuir a dependência da documentação tradicional na forma de papel, acelerando o processo de consulta. Auxiliam na definição de sobressalentes necessários e também na disseminação da informação técnica mais adequada e, por conseguinte na documentação do conhecimento de uma área da organização industrial, no caso deste trabalho, a hidráulica naval.

Deve-se considerar que mesmo resolvendo problemas considerados não muito complexos, o fato de chamadas desnecessárias da equipe de manutenção serem evitadas já pode ser considerado um grande avanço no ambiente industrial.

REICHE (1994) cita que aplicações da IA em manutenção podem ser caras e devem ter a relação custo benefício cuidadosamente estudadas. Entretanto deve-se considerar que a difusão dos chamados *shell*, em especial os abertos, fez que o acesso a esta tecnologia ficasse facilitado, o que significa dizer que o custo diminuiu. Entretanto, não se pode esquecer que o tempo de desenvolvimento nem sempre satisfaz as expectativas, pois conforme apresentado por MENDES (1997), capturar o conhecimento humano não é tarefa simples; sendo que o problema toma proporções maiores quando nos dispomos a registrar a experiência humana, o que é o caso dos SE .

A cultura da organização na qual a ferramenta computacional vai ser implantada é de extrema importância, pois fatores psicológicos podem dificultar e até mesmo impedir a sua utilização. Não se pode esquecer a pesquisa apresentada em 3.2.14., pois esta ferramenta (SE) não pode ser vista como rival ou concorrente do homem, mas apenas e tão somente um instrumento de auxílio ao processo de tomada de decisão, já que conforme IGNIZIO (1991), se ocorre um problema, existe necessidade de sua resolução e várias são as alternativas disponíveis, então existe um campo fértil para aplicação das ferramentas de apoio a decisão.

CAPÍTULO 4

FASES DE DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO SEMAN

4.1 Considerações Preliminares

Os capítulos prévios forneceram uma visão geral sobre os principais conceitos relativos a SE e manutenção. Procurou-se também mostrar qual o papel que esta ferramenta computacional pode desempenhar em uma organização industrial que lida com manutenção naval.

Através da análise das particularidades da atividade de diagnóstico de falhas em instalação hidráulica naval, das características e aplicações de SE, demonstrou-se a utilidade de se desenvolver um SE que tenha esta aplicação.

A partir de agora, e baseado na fundamentação teórica exposta nos capítulos anteriores, serão mostrados com maiores detalhes os passos que foram seguidos para o desenvolvimento da pesquisa. O principal objetivo deste capítulo é documentar o processo de desenvolvimento do sistema especialista protótipo, de modo a possibilitar a obtenção de contribuições científicas concretas e também fornecer subsídios para futuros trabalhos nesta área.

Isto é feito através de uma descrição das principais fases do processo de desenvolvimento, que inclui em alguns momentos trechos de entrevistas realizadas com especialistas no assunto. Tal procedimento é reconhecido pela literatura de IA como uma forma de diminuir a incerteza que cerca o projeto, principalmente nas fases iniciais.

Neste contexto, adota-se o conceito de processo apresentado por BACK (1983). Para ele, processo pode ser entendido como sendo a transformação de diversas informações não ordenadas e não selecionadas em uma saída de informações úteis e integradas.

Desenvolver um SE é uma atividade de engenharia que requer um esforço intelectual considerável. Para que este esforço resulte em um projeto eficiente, é necessário que o projeto tenha um planejamento detalhado e seja executado de forma sistemática. Uma das formas de se obter isto é através da utilização de uma metodologia.

BACK e FORCELLINI (1999) apresentam várias justificativas para o uso de metodologia na atividade de projeto. A mais interessante e provavelmente a mais objetiva talvez seja a alegação de que o simples fato de dividir uma tarefa global em tarefas menores com objetivos específicos torna a solução dos problemas mais orientada, fazendo as possibilidades de obtenção de sucesso serem maiores. Levando em conta que:

- existem diversas abordagens sobre metodologia de projeto;
- não se tem conhecimento de uma que possa ser utilizada indistintamente em qualquer tipo de projeto e
- lembrando também não haver consenso entre os diversos estudiosos da área de SE, (conforme apresentado no item 2.8),

optou-se por mesclar neste trabalho os conceitos da metodologia de desenvolvimento de produtos que vem sendo implementada pelo Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (NeDIP), do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, com os eventos considerados principais pelos diversos estudiosos da área de SE. Por este motivo, o SE é considerado nesta pesquisa o produto a ser desenvolvido.

O processo de projeto passa a ser visto então como um mapa que mostra os caminhos que conduzem ao ponto desejado, no caso específico, ao protótipo. A Figura 4.1 apresenta os principais aspectos deste mapa, que serão apresentados com maiores detalhes nos itens seguintes.

É importante ressaltar que, conforme mencionado no capítulo 1, devido ao modelo escolhido para o desenvolvimento (iterativo incremental), as fases que sucedem o projeto conceitual ocorrem de maneira quase simultânea.

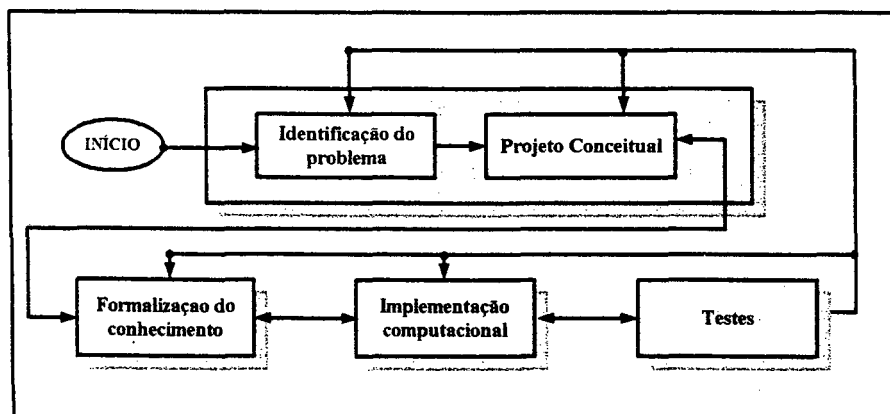


Figura 4.1 - Metodologia utilizada no desenvolvimento do protótipo SEMaN

A Figura 4.1 tem por objetivo descrever de forma sucinta como a informação de projeto foi organizada neste trabalho de pesquisa, ao mesmo tempo em que busca facilitar o entendimento de desenvolvimento incremental. O seu detalhamento será feito nos itens seguintes através da descrição dos passos que foram seguidos durante o desenvolvimento do projeto.

A Figura 4.2 expõe com maiores detalhes as etapas e tarefas que formaram a fase inicial do processo de projeto apresentada na Figura 4.1. A seguir serão discutidos com mais pormenores os princípios que serviram de base para a apreciação das mesmas.

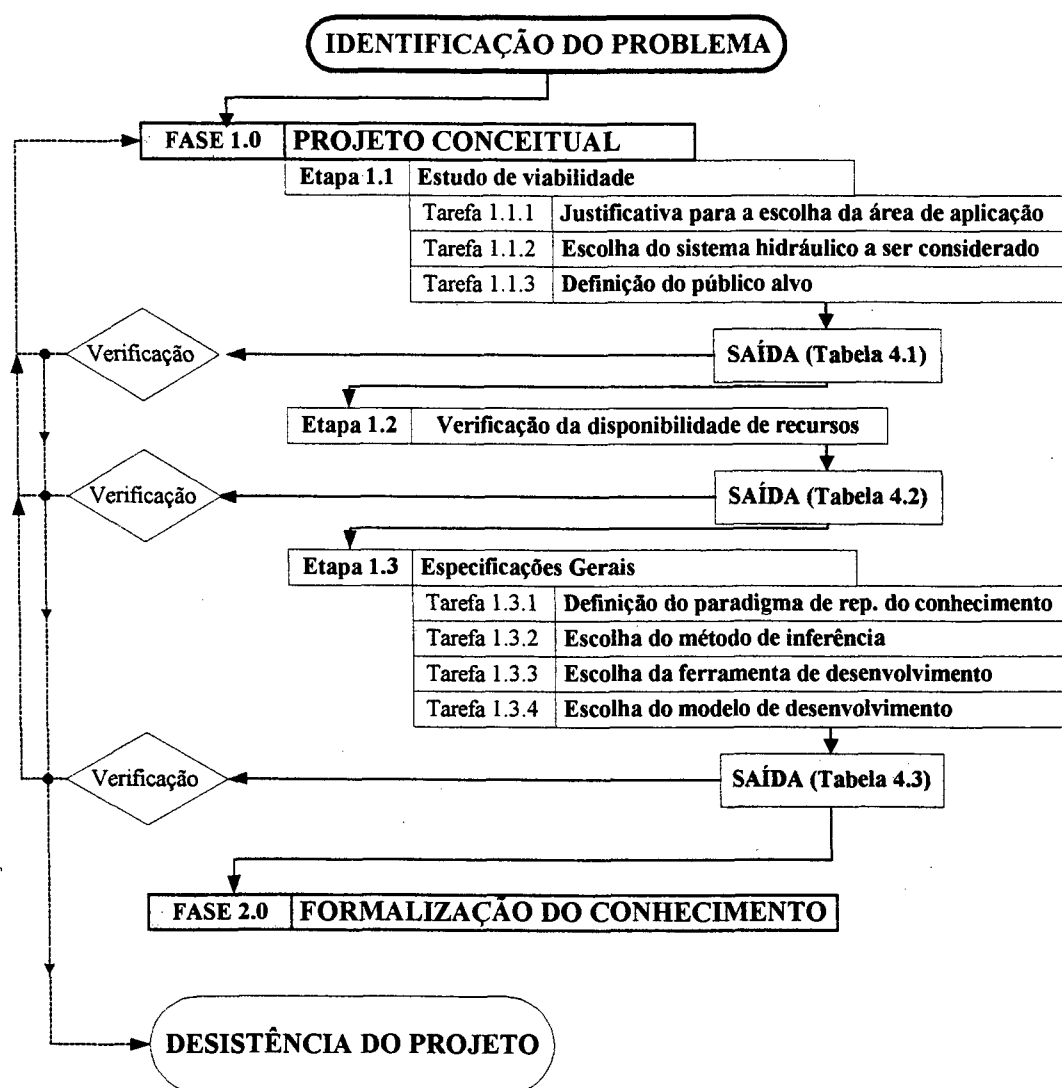


Figura 4.2 – Detalhamento do projeto conceitual realizado para o protótipo SEMaN

4.2 Projeto Conceitual

No contexto de SE, pode-se dizer que nesta fase são colhidas as informações que justificam o desenvolvimento do SE. Basicamente, dois pontos dão apoio a esta afirmativa:

1. sabe-se que decisões tomadas nas fases iniciais do desenvolvimento de produtos causam um grande impacto no ciclo de vida destes;
2. sabe-se também que, apesar de os SE apresentarem vantagens, conflitos podem surgir em torno de questões como propriedade e responsabilidade, o que em alguns casos pode inviabilizar o desenvolvimento de SE (BELOHLAV et al., 1997).

4.2.1 Identificação do problema

O ponto de partida deste projeto foi a identificação de que é exigido do pessoal envolvido com manutenção naval que se faça cada vez mais com menos recursos, em uma pressão crescente para maximizar a utilização dos equipamentos e a produtividade da organização industrial. Este processo tem como fato gerador a forte necessidade de diminuição tanto do tempo de parada, como dos custos das intervenções de manutenção naval. Esses são problemas reais com que estaleiros se deparam, e conforme já apresentado, são bastante influenciados pelos sistemas hidráulicos apresentados na Figura 3.4.

Uma vez constatada a existência do problema, será apresentado em ordem cronológica como foi feito o esclarecimento do mesmo.

No contexto de SE, o projeto conceitual pode ser dividido em três etapas, todas expostas na Figura 4.2: estudo de viabilidade, verificação da disponibilidade de recursos e especificações gerais. No estudo de viabilidade, o objetivo principal é investigar se a área de conhecimento na qual se pretende desenvolver o SE é apropriada à abordagem que se pretende utilizar.

Após obter esta indicação, é importante assegurar que o projeto tenha boas chances de ser bem sucedido, pois sabe-se que o desenvolvimento de SE envolve um alto grau de incerteza, principalmente nas fases iniciais, e um ponto crucial diz respeito aos recursos que serão utilizados durante o processo. Isto é feito na etapa de verificação da disponibilidade de recursos.

A última etapa desta fase tem por objetivo determinar as especificações que a ferramenta deve ter para resolver o problema identificado inicialmente.

4.2.2 Estudo de viabilidade

Embora S.E possam ser utilizados em diversas aplicações (conforme apresentado no capítulo 2), é importante examinar com atenção pontos que podem mostrar se o problema que está sendo abordado é passível de ser resolvido por esta técnica. Isto deve ser feito antes do início da implementação computacional.

Para possibilitar uma melhor compreensão e conforme apresentado na Figura 4.2, esta etapa foi dividida em três tarefas: a primeira busca investigar se a área de conhecimento favorece o desenvolvimento de SE, a segunda identifica dentro da área de conhecimento, qual(is) sistema(s) pode(m) ser considerado(s) na pesquisa e a última busca identificar e conhecer melhor os futuros usuários da ferramenta computacional.

4.2.2.1 Justificativa para a escolha da área de aplicação

GONZALEZ e DANKEL (1993) afirmam que não existe uma receita padrão que indique com certeza quando deve ser utilizada uma abordagem baseada na técnica de SE. O que existe são algumas orientações, que serão apresentadas a seguir e que podem auxiliar no processo de tomada de decisão.

Inicialmente deve ser considerado que a hidráulica é largamente utilizada no navio como meio de transmissão de potência, o que lhe confere um alto grau de importância no contexto naval.

Além disso, pode-se afirmar que a hidráulica é uma área especialmente adequada para o desenvolvimento de SE. Os pontos abaixo justificam a afirmativa:

- existe uma teoria bem definida;
- a natureza complexa dos sistemas hidráulicos, cujo comportamento depende da composição de diversos efeitos como escoamento de fluidos em câmaras, campos magnéticos em solenóides, atritos compostos, etc., dificulta a modelagem matemática (DE NEGRI, 1996). Esta dificuldade faz a heurística ter um papel importante, principalmente, quando se trata de manutenção de sistemas hidráulicos;
- existe uma forte manipulação simbólica, principalmente no diagnóstico que se apoia fundamentalmente no diagrama e no comportamento do sistema hidráulico;

- quando se estuda e/ou se trabalha com diagnóstico de falhas em instalações hidráulicas, percebe-se que as entradas são na maioria das vezes incompletas e/ou incorretas;
- existe uma analogia entre sistemas hidráulicos, pneumáticos e elétricos, o que facilita a adaptação do ambiente computacional a outros tipos de sistemas (SILVA e CHEUNG, 1997) e
- os benefícios decorrentes da aplicação de um SE podem ser bastante grandes para a organização industrial que lida com manutenção de sistemas hidráulicos.

Apresenta-se abaixo trecho de entrevista feita com dois especialistas em hidráulica. As respostas confirmam na prática os pontos apresentados acima.

EC: Na sua opinião, quais as principais vantagens e desvantagens que um SE poderia proporcionar à atividade de manutenção de sistemas hidráulicos?

Especialista A: *Como vantagens vejo que quando se descobre o ponto de falha, existe a possibilidade de atendimento mais rápido, principalmente dos problemas que podem ser considerados simples. Pensando em termos de custo, deve-se considerar que frequentemente mobiliza-se duplas de mecânicos com respectivo encarregado para analisar a causa da falha. Se considerarmos o valor da hora de trabalho desta equipe acrescido do valor da hora produtiva tem-se um valor considerável, que neste caso pode ser economizado.*

Especialista B: *A princípio vejo somente vantagens, sendo que as principais seriam o aumento de confiabilidade e a redução de custos para a manutenção.*

4.2.2.2 A escolha do sistema hidráulico a ser considerado

Devido ao tempo disponível para o projeto não ser suficiente para desenvolver um protótipo computacional que contemple os diversos sistemas apresentados na Figura 3.4, foi necessário escolher um sistema tal, que a sua utilização pudesse demonstrar a viabilidade da utilização da ferramenta computacional na atividade de manutenção naval.

Para se chegar à conclusão de qual sistema considerar no projeto foi necessário entrevistar alguns especialistas da área de manutenção de sistemas hidráulicos navais. Em função da uniformidade nas respostas, será apresentado apenas o trecho de uma dessas entrevistas, e a seguir os pontos que a fundamentam.

EC: Na sua opinião, dos sistemas hidráulicos existentes no navio, qual deveria ser o escolhido para ser considerado em um estudo de diagnóstico de falhas e ?

Especialista A: *Na minha opinião, o sistema piloto para um projeto como este deveria ser o sistema de governo, em função da sua importância.*

Além da resposta supracitada que na sua simplicidade sintetiza o pensamento dos especialistas entrevistados, o sistema hidráulico de governo foi escolhido, pois o mesmo é um dos principais responsáveis pela execução da função básica do navio de deslocar-se na água com uma trajetória controlada. Além disso, alguns problemas neste sistema inviabilizam a operação do navio.

Apesar do reparo deste sistema hidráulico poder ser feito com o navio flutuando, a localização física de alguns de seus componentes acarreta em determinadas situações uma docagem.

Docagem significa movimentar o navio para o interior de um dique seco, que é uma escavação em terra firme localizada normalmente à beira mar, revestida de concreto armado e susceptível de ser alagada e depois esgotada, ou para um dique flutuante, que é uma plataforma, dotada de compartimentagem estanque, e cuja finalidade é erguer da água navios que necessitem de reparo ou vistorias abaixo da linha d'água. A docagem é uma operação que envolve um bom planejamento, em função do alto custo e da necessidade que existe de se minimizar o tempo de permanência do navio no dique.

Os pontos citados enfatizam não somente a importância do sistema de governo, como também da hidráulica no contexto geral do navio, e expõem as razões que levaram à escolha do sistema de governo como o sistema a ser considerado nesta pesquisa. A Figura 4.3 mostra o diagrama hidráulico de um típico sistema de governo de navio.

O diagrama hidráulico representado na Figura 4.3 tem caráter meramente ilustrativo, cujo objetivo é introduzir ao leitor o sistema hidráulico escolhido para ser considerado nesta pesquisa. O Anexo 7 apresenta este mesmo diagrama na forma padronizada pela norma internacional *ISO 1219-1 (Fluid power systems and components – Graphic symbols and circuit diagrams)*.

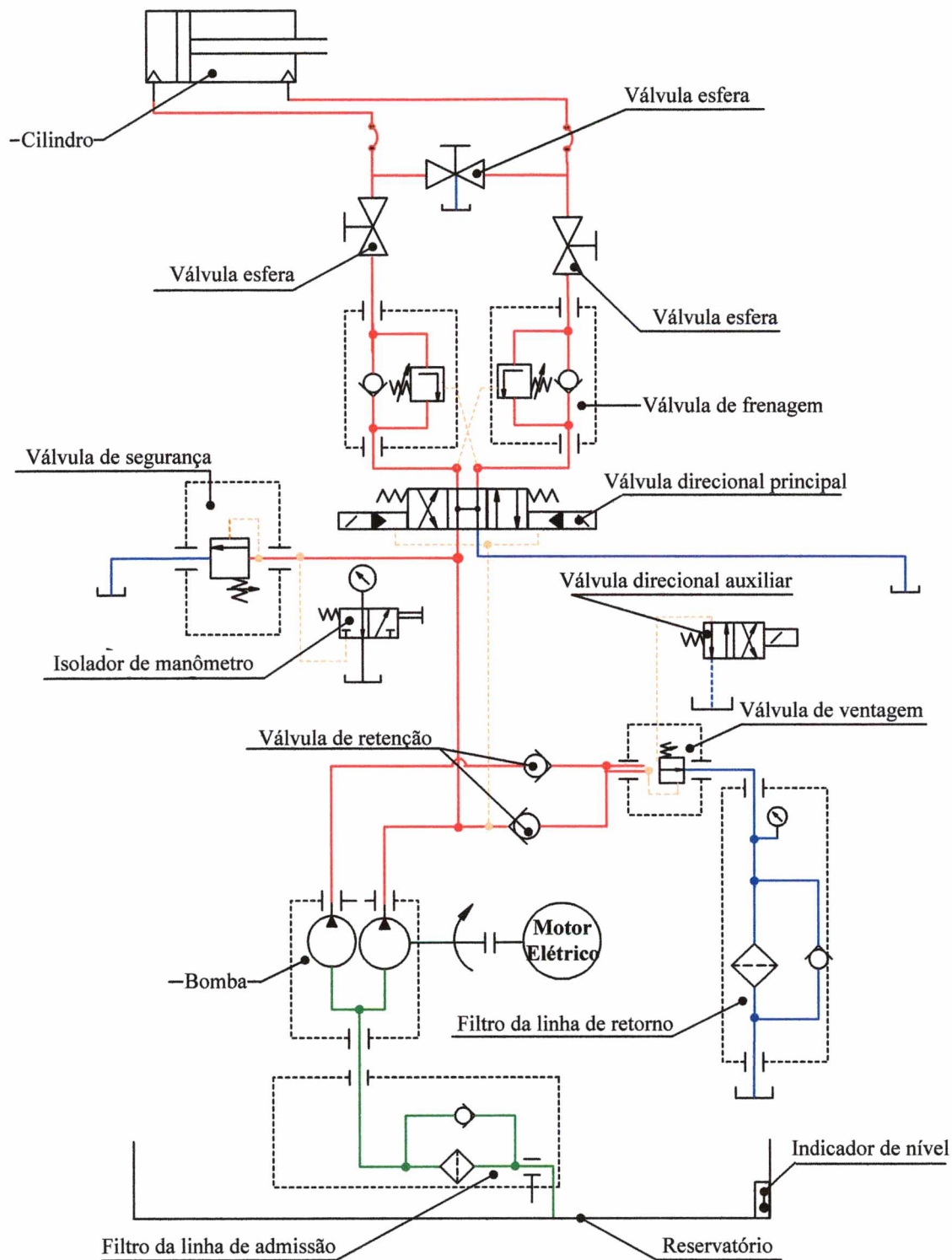


Figura 4.3 - Diagrama hidráulico de um típico sistema de governo

Uma vez definido qual o sistema hidráulico a ser considerado na pesquisa, faz-se necessária uma breve explanação sobre o funcionamento do mesmo.

O funcionamento do sistema inicia quando a vazão de óleo proveniente de um dos conjuntos rotativos (bombas) dirige-se para a válvula direcional principal, fornecendo pressão piloto para a válvula de segurança e para o manômetro.

A válvula direcional é o componente que controla o movimento do leme para um bordo ou para outro. Quando este componente não está sendo acionado pelo sistema de controle, a vazão de óleo retorna direto para o reservatório. Isto ocorre devido ao fato do tipo construtivo da válvula ser de centro aberto. Quando está sendo acionada, esta válvula faz o óleo passar pelas válvulas de frenagem e acionar o atuador que irá movimentar o leme. A função básica das válvulas de frenagem é não permitir a mudança de posição do leme sem que seja atuada a válvula direcional.

A vazão gerada pelo outro conjunto rotativo dirige-se para a válvula direcional auxiliar caso a válvula de ventagem esteja sendo pilotada. Quando a válvula de ventagem não estiver sendo pilotada, esta vazão dirige-se para o tanque passando pelo filtro de retorno. A válvula direcional auxiliar é responsável pela pilotagem ou não da válvula de ventagem.

4.2.2.3 Definição do público alvo

Após a escolha do sistema a ser considerado no projeto, torna-se necessário definir quem serão os futuros usuários da ferramenta computacional. O objetivo é, ao identificar as pessoas que irão se relacionar de forma mais próxima com o protótipo, descobrir quais são as necessidades que a ferramenta deverá atender.

Inicialmente foram selecionadas duas categorias de usuários: técnicos de coordenação de manutenção e os operadores do sistema. Os técnicos de coordenação de manutenção são responsáveis pelo delineamento dos serviços que serão executadas nos PM pelo *staff* de manutenção da organização industrial. O objetivo da escolha é, ao diminuir a distância entre os que operam o sistema no dia a dia e aqueles que são responsáveis pela organização da manutenção, minimizar os aspectos negativos apresentados no item 3.6, pois a comunicação entre estes dois grupos é fundamental para um bom processo de gestão da manutenção.

Definição de sobressalentes, de procedimentos técnicos a serem seguidos, alocação de mão de obra, planejamento de testes e outras atividades desenvolvidas durante os PM passam necessariamente pela interação entre estes dois grupos e são proveniente de informações geradas durante o período de uso dos equipamentos a bordo.

Neste ponto é importante mencionar uma característica do protótipo que está sendo desenvolvido neste trabalho e que busca facilitar o gerenciamento do conhecimento entre estas categorias: a geração automática de relatórios técnicos em formato HTML, o padrão para apresentação de páginas na Internet. Estes relatórios consistem em arquivos que podem ser lidos por *browsers*. Os arquivos são gerados automaticamente, e nenhum conhecimento de tecnologia de Internet é necessário. O objetivo é enviar tais relatórios via rede, em um ambiente de Intranet, acelerando a tramitação de informação técnica no estaleiro e facilitando o processo de gerenciamento do conhecimento no ambiente de manutenção naval (ALVES e SILVA, 2001).

Após a definição do público alvo, foi feito um questionário cujo objetivo foi conhecer melhor os futuros usuários da ferramenta computacional. Transcrevem-se abaixo trechos considerados mais importantes desta entrevista.

EC: Como você classificaria o nível de computação do pessoal que hoje trabalha com hidráulica?

USUÁRIO 1: *De uma forma geral, baixo. Na minha opinião acaba havendo uma preocupação maior com o "hardware".*

USUÁRIO 2: *A rotina diária do profissional que lida com hidráulica, em particular manutenção é muito corrida e desgastante. O estudo destes profissionais está quase sempre voltado para entendimentos de diagramas, manuais técnicos e assuntos ligados à resolução de problemas em sistemas cuja parada deve ser via de regra no menor tempo possível. Estas pessoas utilizam a computação como ferramenta em situações bem específicas, como por exemplo: confecção de relatórios técnicos, desenho de diagramas e simulação. Todos estes fatos me levam a acreditar que essas pessoas podem ser vistas como usuários e não como conhecedores profundos de computação.*

EC: Na sua opinião, se você tivesse uma ferramenta de diagnóstico a sua disposição, que características esta ferramenta deveria ter ?

USUÁRIO1: *Em primeiro lugar, gostaria que fosse fácil de usar. Se possível gostaria que apresentasse além do diagnóstico, recomendações de reparo e previsão de sobressalentes necessários ao reparo.*

USUÁRIO 2: *Seguindo a linha da resposta anterior, inicialmente ela deveria ser de fácil utilização. No meu modo de ver, quanto mais simples fosse o uso melhor. Também deveria permitir a visualização do circuito que está sendo analisado se possível em cores, pois no campo, quando diagramas hidráulicos são analisados, usa-se cópias que têm que ser coloridas manualmente para facilitar o entendimento de como o sistema funciona. Para finalizar, acho que a ferramenta além do diagnóstico, deveria apresentar o porquê de tal diagnóstico. Estas características ajudariam muito o trabalho do profissional que está trabalhando na maioria das vezes sob pressão.*

As respostas das perguntas apresentadas acima indicam que, além de certas características que podem ser consideradas básicas para uma ferramenta computacional, a sua utilização não deve necessitar de conhecimento computacional aprofundado, fato que não pode ser esquecido durante a implementação computacional. A tabela abaixo resume quais foram as principais saídas da etapa de estudo de viabilidade.

Tabela 4.1 – Saídas previstas para a Etapa Estudo de Viabilidade

	JUSTIFICATIVA PARA A ESCOLHA DA ÁREA DE APLICAÇÃO	ESCOLHA DO SISTEMA A SER CONSIDERADO NA PESQUISA	DEFINIÇÃO DO PÚBLICO ALVO
ASPECTOS CONSIDERADOS NA ANÁLISE	- Natureza do problema. - Fundamentação teórica bem estabelecida. - Existência de entradas incompletas e/ou erradas.	- Relevância . - Abrangência.	- Experiência do E.C. Vantagens proporcionadas pela ferramenta
RESULTADO CONCLUSÃO	O DOMÍNIO DE CONHECIMENTO É ADEQUADO	O SISTEMA É REPRESENTATIVO	PESSOAL DE BORDO RESPONSÁVEL PELA OPERAÇÃO DO SISTEMA / GRUPO DE COORDENAÇÃO DE MANUTENÇÃO

Antes de prosseguir com a explanação, faz-se necessário comentar rapidamente as saídas apresentadas na Tabela 4.1. Quando a área de aplicação não é adequada ao desenvolvimento de SE, o EC deve buscar outras alternativas para resolver o problema, desistindo de utilizar a técnica de sistemas especialistas como abordagem para resolver o problema (GONZALEZ e DANKEL, 1993).

Embora não se possa dizer que a escolha de um sistema não representativo impeça o desenvolvimento do SE, deve-se considerar que tanto a escolha do sistema a ser considerado inicialmente no projeto como a definição do público alvo, ganham importância quando se faz a opção pelo modelo de desenvolvimento iterativo incremental, e que essas opções também serão levadas em consideração, mesmo que de forma indireta, quando o protótipo estiver sendo avaliado em etapas posteriores.

4.2.3 Verificação da disponibilidade de recursos

Nesta etapa, busca-se investigar se os recursos disponíveis são suficientes para o desenvolvimento do projeto e se a utilização da técnica de SE pode ser justificada.

Como fontes de conhecimento, foram utilizados tanto livros, relatórios, manuais técnicos, como os especialistas da área (Marinha do Brasil e Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos -LASHIP-), que são as fontes predominantes de conhecimento no desenvolvimento do projeto. Considera-se também que o embasamento teórico obtido pelo desenvolvedor, tanto na área de SE, como também nas áreas de hidráulica e manutenção, aliado à sua experiência prática na área naval colaboram para diminuir as incertezas inerentes a um projeto deste porte.

O fato de o protótipo ter sido desenvolvido longe dos especialistas que realmente conhecem o sistema hidráulico que está sendo considerado na pesquisa é um ponto que não deve ser relegado, porque em determinadas situações pode atrasar o processo de desenvolvimento. O enfoque principal desta etapa é tentar conciliar o tempo disponível com as necessidades do projeto e as fontes existentes. A tabela 4.2 resume as saídas desta etapa.

Tabela 4.2 – Saídas para a Etapa Verificação da disponibilidade de recursos

	DISPONIBILIDADE DE TEMPO	DISPONIBILIDADE DE RECURSOS	CONHECIMENTOS DO ENGENHEIRO DE CONHECIMENTO
ASPECTOS CONSIDERADOS NA ANÁLISE	- Qual o tempo disponível p/ o projeto ?	- Existe disponibilidade de especialistas na área de conhecimento? - Existe bibliografia que possa ser utilizada como apoio ?	- O E.C. tem conhecimento do assunto a ser abordado? - O E.C. tem base em computação?
RESULTADO CONCLUSÃO	ADAPTAR A FUNCIONALIDADE DA FERRAMENTA AO TEMPO DISPONÍVEL	NÃO EXISTE PROBLEMA NO QUE DIZ RESPEITO ÀS FONTES DE CONHECIMENTO	A EXPERIÊNCIA E O EMBASAMENTO TEÓRICO FAVORECEM O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Conforme apresentado na Figura 4.2, os quesitos apresentados na Tabela 4.2 são analisados tomando por base as saídas apresentadas na Tabela 4.1, saídas que representam a abordagem inicialmente idealizada para o protótipo. Fica fácil visualizar que o início do desenvolvimento de SE envolve uma grande quantidade de incertezas e que considerações iniciais equivocadas podem levar à mudança de paradigma citada no capítulo 2.

Se os recursos disponíveis não são suficientes para o desenvolvimento do projeto, pode-se tentar adaptar as condições estabelecidas inicialmente a estes recursos. Se mesmo assim o impasse persistir, deve-se buscar um consenso entre os envolvidos no projeto de modo a se evitar desgastes futuros causados por término inesperado do projeto ou resultados aquém do esperado. Percebe-se então a importância da preparação prévia do EC no domínio de conhecimento que vai ser modelado.

4.2.4 Especificações gerais

Após a definição das etapas citadas anteriormente, faz-se necessário partir para a elaboração das especificações da ferramenta computacional. No contexto de SE, as especificações gerais representam um conjunto de informações que juntas irão definir as características que a ferramenta computacional irá apresentar.

4.2.4.1 Definição do paradigma de representação de conhecimento

Após a constatação de que o problema a ser resolvido é real, que existem fontes de conhecimento disponíveis e que a definição dos futuros usuários da ferramenta computacional foi concluída, a próxima decisão tomada foi a escolha do paradigma de representação de conhecimento. Esta escolha é muito importante, pois tem influência direta na escolha da ferramenta que será utilizada no desenvolvimento do sistema que se está planejando.

A escolha recai basicamente entre regras e objetos (GONZALEZ e DANKEL, 1993). No caso específico desta pesquisa, optou-se pela utilização de ambas as formas citadas acima. As justificativas são apresentadas a seguir.

Para desenvolver um SE de diagnóstico de falhas, é importante entender como os profissionais de manutenção pensam. Este estudo faz parte de um processo complexo denominado de cognição, e foi brevemente citado no capítulo 2.

Estas pessoas tendem a expressar o conhecimento acumulado ao longo dos anos em associações empíricas (heurística), que são mais facilmente traduzidas na forma de regras. Nesta forma de raciocínio, os especialistas utilizam regras para derivar fatos que justifiquem ou não as hipóteses que desejam provar, em um clássico exemplo de inferência reversa (*backward chaining*).

Deve-se considerar que a uniformidade com que o conhecimento é representado na forma de regras facilita o desenvolvimento de uma base de conhecimento e possibilita que o mecanismo de explicação, uma importante característica dos SE, seja implementado através da reconstituição das regras disparadas. Outro ponto importante é que esta forma de representação de conhecimento facilita a interação com os especialistas humanos.

Neste trabalho, as regras serviram principalmente para relacionar os efeitos da falha (sintomas do problema percebidos pelo usuário) com as causas mais prováveis destes mesmos problemas.

No capítulo 3 foi mostrado que o termo sistema é relativo, e que o seu significado varia com o contexto em que é aplicado. Agora pretende-se ampliar este conceito, demonstrando que sistemas hidráulicos tais quais o estudado no presente trabalho podem ser considerados sistemas complexos.

Segundo SIMON apud DE NEGRI (1996), tais sistemas são caracterizados como complexos no sentido de que o todo é mais que a soma das partes, ou seja, dadas as propriedades das partes e as leis de suas interações, não é trivial inferir sobre as propriedades do todo.

Segundo SIMON e ANDO apud BOOCH (1994), frequentemente a complexidade toma a forma de hierarquia, através da qual um sistema complexo é composto de sistemas interrelacionados, que por sua vez têm seus próprios subsistemas e assim por diante, até encontrar componentes considerados elementares.

Como exemplo, cita-se o apresentado por SILVA (1998), onde o sistema hidráulico é formado pelos subsistemas unidade de potência, unidade de controle de vazão e unidade de controle de posição, que por sua vez são formados por subsistemas menores e assim sucessivamente, até chegar nos componentes considerados elementares.

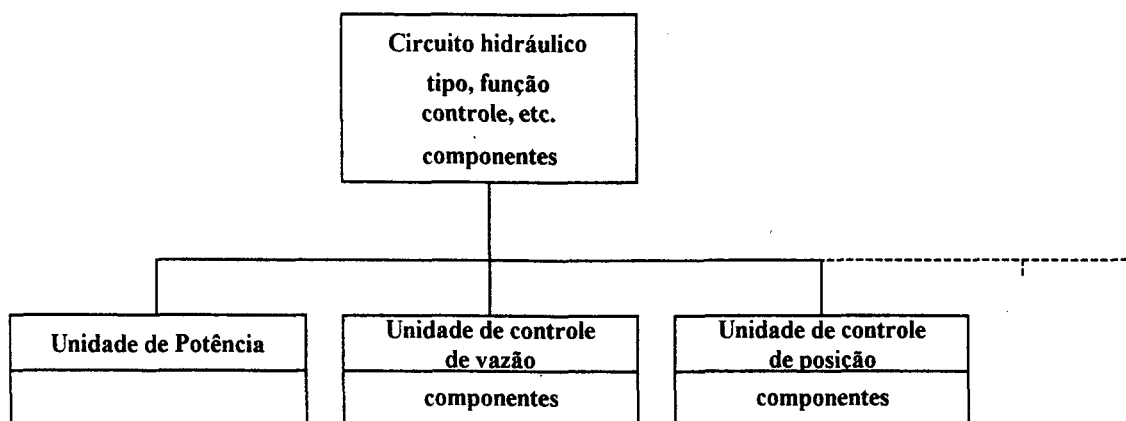


Figura 4.4 – Hierarquia dos sistemas hidráulicos (SILVA, 1998)

Constata-se assim que o domínio de conhecimento representado pela hidráulica é complexo e contém tantas variações que seria necessária uma quantidade muito grande de regras para mapear este conhecimento de forma precisa; daí a necessidade de utilizar métodos de modelagem orientados a objeto citados no capítulo 2.

A afirmação de DYM e LEVITT (1991) apud SILVA (1998) de que somente regras não são suficientemente poderosas para formular e resolver isoladamente problemas de engenharia complexos, porque não têm a capacidade de representar entidades complexas, quando estas entidades têm vários atributos e procedimentos agregados, confirma o exposto inicialmente.

O enfoque da modelagem orientada a objetos vê o mundo como uma coletânea de entidades que interagem entre si, apresentam características próprias que são representadas pelos seus atributos (dados) e operações (processos) (FURLAN, 1998). Segundo esta visão, os objetos são modelos que podem ser considerados como sendo simplificações da realidade.

BACK (1983) apresenta diversos motivos que justificam o uso de modelos na engenharia. Dentre eles, destacam-se os seguintes:

- facilita a definição do problema;
- permite realizar uma rápida análise da situação e;
- é muito dispendioso construir todas as alternativas possíveis.

A modelagem é importante pois permite omitir detalhes considerados não essenciais, facilitando a sua manipulação quando comparado com a instância original (RUMBAUGH et al., 1991). A capacidade humana que possibilita isto chama-se abstração e foi citada no capítulo 2.

É através desta representação, cuja construção fundamental é o objeto que combina tanto estrutura de dados quanto comportamento em uma única entidade (RUMBAUGH et al., 1991), que as variações supracitadas podem mais facilmente ser mapeadas.

Segundo a análise apresentada em DE NEGRI (1996,), são discutidos os trabalhos de HENSON et al.(1994), HUBKA & EDER (1988) e KUMARA et al.(1989) no contexto de sistemas técnicos e de HAREL (1987) e RUMBAUGH et al.(1991), relacionados com o desenvolvimento de software, a descrição de sistemas complexos tem sido subdividida segundo as perspectivas estrutural, funcional e comportamental de tal modo que a junção dos três tipos de modelos correspondentes possibilita a descrição técnica completa do sistema.

O diagrama de classes representa a perspectiva estrutural, pois é este diagrama que captura a estrutura estática dos componentes do mundo real que se pretende representar. É considerado estático, pois a estrutura descrita nele é sempre válida em todo o ciclo de vida do SE.

Segundo a UML (FURLAN, 1998), existem quatro tipos principais de relacionamento que auxiliam o modelamento da perspectiva estrutural do sistema que se está estudando:

- generalização/especificação, também conhecido como herança;
- agregação, é usada para denotar relacionamentos todo/parte;
- associação, é usada para denotar relacionamentos entre classes não correlatas e,
- dependência, é o relacionamento entre elementos, um independente e outro dependente.

O diagrama de estados descreve a perspectiva comportamental, pois diz respeito aos aspectos do sistema relacionados ao tempo e à seqüência de operações. Representa os estados e a seqüência de eventos permitidos em um sistema para uma determinada classe de objetos. Baseia-se no princípio de que objetos de uma classe têm um ciclo de vida. Na notação UML, este diagrama faz parte de um conjunto de diagramas de interação.

4.2.4.2 Escolha do método de inferência

Normalmente o método de inferência está diretamente ligado ao tipo de problema que se deseja resolver. Neste trabalho de pesquisa, um dos métodos utilizados foi o encadeamento reverso (*backward chaining*), devido principalmente aos pontos considerados apresentados abaixo:

- é a forma que o especialista pensa, pois este necessita ir juntando informação durante a sessão para provar que a hipótese que está tentando comprovar é verdadeira, contrastando com o método direto, no qual todos ou pelo menos a grande maioria das informações são conhecidos no início do problema e;
- a capacidade de explicação é mais facilmente implementada quando se utiliza este método, uma vez que no encadeamento direto, as metas intermediárias não estão explicitamente definidas.

Recordando o que foi apresentado no capítulo 2, pode-se dizer que o encadeamento reverso utiliza a lógica abdutiva como técnica de prova.

É importante ressaltar que o encadeamento reverso pode ser implementado através do encadeamento direto. Entretanto quando isto ocorre, surgem basicamente duas dificuldades. A primeira diz respeito à perda de eficiência do sistema na busca pela solução, pois diferentemente do encadeamento reverso que facilita a busca em profundidade (*depth search*), o encadeamento direto está mais relacionado com a busca em amplitude ou largura (*breadth search*). Isto na prática significa que provavelmente perguntas desnecessárias serão feitas. A segunda dificuldade é conceitual, pois a representação do conhecimento extraído do especialista humano terá que ser alterada para satisfazer o encadeamento direto da máquina de inferência, o que pode proporcionar erros além de dificultar a interação com o especialista (GIARRATANO e RILEY, 1993).

As técnicas supracitadas estão relacionadas com a representação do conhecimento através de fatos e regras, como nesta pesquisa também são utilizados objetos, foi necessária a utilização de métodos de inferência específicos para manipular os atributos dos objetos criados na implementação computacional.

4.2.4.3 Escolha da ferramenta de desenvolvimento

Deve-se ter em mente que a ferramenta escolhida para desenvolver o sistema deve atender as necessidades decorrentes da aplicação desejada, do paradigma de representação de conhecimento e do método de inferência adotados e se possível possuir uma interface amigável. Além disso, deve-se considerar que é necessário um período de tempo para que o EC conheça as facilidades que a ferramenta pode proporcionar, antes de iniciar o processo de desenvolvimento computacional.

Três alternativas básicas se apresentam: desenvolver uma linguagem própria, utilizar uma linguagem (Lisp ou Prolog) ou utilizar um arcabouço, como também são chamadas as *shell*. *Shell* é um ambiente de programação que contém as facilidades necessárias ao desenvolvimento de um SE DURKIN (1994).

Devido aos motivos apresentados abaixo e tendo em mente o objetivo principal da pesquisa, descrito no capítulo 1 desta dissertação, optou-se pela utilização de um *shell*.

- o ambiente *shell* já possui a máquina de inferência, o que faz o EC concentrar os esforços nas questões relativas ao domínio de conhecimento e
- manutenibilidade: em alguns *shell* a manutenção do sistema é feita por membros da equipe que o desenvolveu, o que diminui a probabilidade de surgimento de *bugs* inesperados.

A próxima pergunta a ser respondida é: que *shell* utilizar? Embora este questionamento não tenha uma única resposta, alguns pontos importantes não podem deixar de ser considerados, dentre os quais se destacam:

- a ferramenta proporciona a forma de inferência a ser adotada na resolução do problema?
- qual o grau de confiabilidade da ferramenta?
- qual o grau de afinidade do engenheiro de conhecimento com a ferramenta?

Tendo em vista os pontos abaixo, optou-se pela utilização do ambiente *CLIPS* - *C Language Integrated Production System* – (GIARRATANO, 1998a/b), um ambiente *shell* desenvolvido pela *NASA (National Aeronautics and Space Administration)*.

Embora esta ferramenta tenha sido projetada principalmente para ser utilizada em aplicações que utilizem o encadeamento direto como método de inferência (GIARRATANO e RILEY, 1993), o que a princípio dificultaria a sua utilização na pesquisa, optou-se pela sua utilização neste projeto devido aos motivos apresentados a seguir:

- confiabilidade, pois este ambiente além de ter sido desenvolvido por uma instituição reconhecida mundialmente (*NASA*), possui lista de discussão e tem uma grande comunidade de usuários;
- facilidade de utilização, pois esta ferramenta está disponível na Internet podendo ser livremente utilizada e por fim,
- considerou-se a experiência adquirida pelo EC com a ferramenta, uma vez que o aprendizado de outra ferramenta não é trivial e consumiria um tempo que poderia comprometer o prazo previsto para conclusão do projeto.

4.2.4.4 Escolha do modelo de desenvolvimento

Outro ponto que não pode deixar de ser considerado nesta etapa é a escolha do modelo de desenvolvimento, ou como preferem alguns autores, a definição dos passos que irão transformar a idéia em um protótipo. GIARRATANO e RILEY (1993) apresentam algumas considerações sobre modelos de ciclo de vida para SE. Tendo em vista o objetivo principal deste capítulo, serão apresentadas abaixo apenas as razões que levaram à adoção do modelo de ciclo de vida incremental:

- para diminuir as incertezas relativas ao processo de interação com os especialistas humanos e
- neste modelo, o próprio SE favorece o seu desenvolvimento, pois permite que o processo de desenvolvimento seja uma consequência natural da expansão do protótipo.

A tabela 4.3 apresentada a seguir resume as saídas desta fase do projeto, que são as especificações que a ferramenta computacional irá ter.

Tabela 4.3 – Saídas para a etapa de especificações da ferramenta computacional

CARACTERÍSTICA DO S.E.	DESCRIÇÃO
<ul style="list-style-type: none"> - Paradigma de representação de conhecimento - Método de inferência - Ferramenta de desenvolvimento - Modelo de desenvolvimento 	<ul style="list-style-type: none"> - regras e objetos . - encadeamento reverso para fatos e regras e procedimentos específicos para objetos - CLIPS - Modelo iterativo e incremental

As saídas apresentadas na Tabela 4.3 resumem o entendimento do EC sobre a forma mais adequada de esclarecer o problema formulado em 4.2.1 , e a sua eficácia é consequência direta da compreensão da questão que se deseja resolver.

A partir deste ponto, a explanação passa a se basear mais nos conceitos apresentados em 2.8 e no modelo incremental de desenvolvimento. Diferentemente da fase anterior, não existe uma seqüência definida de etapas e tarefas, capaz de resolver todos os tipos de problema, ou em outras palavras, não existe uma receita que sirva a todos os problemas que se pretende abordar com a técnica de SE.

Conforme exposto em 2.7, este é exatamente o desafio com o qual se depara o **engenheiro de conhecimento** nesta fase do desenvolvimento do projeto: descobrir como especialistas humanos em manutenção de sistemas de governo de navio adquirem, organizam e usam o conhecimento durante o processo de resolução de problemas no dia a dia para representar este conhecimento de tal modo que possa ser codificado em uma forma tal que uma máquina possa seguir.

A Figura 4.5 mostra como a informação de projeto foi tratada nestas fases do desenvolvimento do protótipo SEMaN. A seguir serão discutidos com mais detalhes os princípios que serviram de base para a apreciação das mesmas.

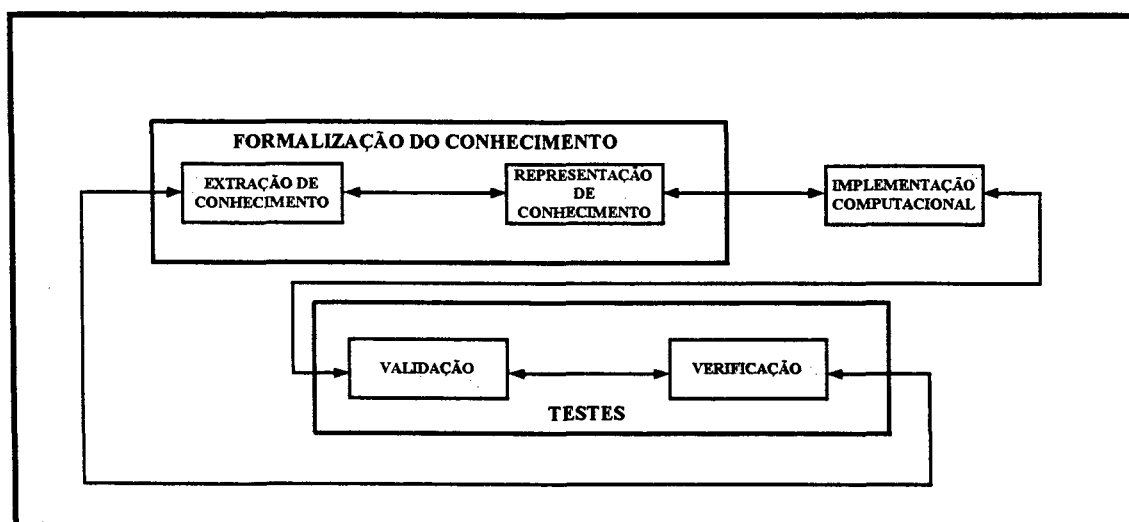


Figura 4.5 – Aplicação do modelo iterativo incremental no desenvolvimento do protótipo SEMaN

4.3 Formalização do conhecimento

A fase de formalização do conhecimento é composta de duas etapas: extração e representação do conhecimento. Na primeira, o EC extrai conhecimento das diversas fontes disponíveis, citadas no item 4.2.3, de modo a possibilitar a execução da etapa posterior, ou seja, a criação de estruturas capazes de reproduzir o conhecimento adquirido de tal forma que possa ser codificado computacionalmente no momento oportuno.

4.3.1 Extração do conhecimento

Conforme apresentado por DURKIN (1994), a força de um SE provém do conhecimento contido no sistema, por isso todo o esforço deve ser feito para assegurar que o conhecimento que está sendo inserido corresponda ao entendimento dos especialistas no assunto.

Conforme já mencionado, o objetivo desta etapa é compilar um corpo de conhecimento sobre o problema, de modo que tal conhecimento possa ser codificado e posteriormente verificado e validado. Esta fase embora essencial, é a mais difícil do desenvolvimento de SE, ou como preferem chamar alguns autores; o “gargalo do processo”.

Segundo DUDA e SHORTLIFFE (1983) apud DURKIN (1994) “a aquisição e a decodificação do conhecimento é uma das tarefas mais complexas encontradas na construção de SE ...”. Segundo HAYES-ROTH (1983) apud DURKIN (1994) “aquisição de conhecimento é o gargalo no processo de construção de SE ...”.

A dificuldade decorre da aparente lentidão com que resultados concretos aparecem, e segundo HART (1988), a importância vem do fato de que nenhum conhecimento pode ser implementado computacionalmente se antes não tiver havido um processo de aquisição.

A aplicação da abordagem incremental minimiza esta dificuldade, pois quando se utiliza este princípio, passa a não haver a preocupação de adquirir todo o conhecimento necessário à resolução do problema, mas apenas o necessário para que seja implementada uma unidade funcional. Isto diminui o tempo para que resultados apareçam, o que influi positivamente nas pessoas envolvidas.

Esta etapa iniciou com uma busca de referências bibliográficas que abordassem falhas em sistemas hidráulicos. A principal fonte de consulta utilizada foi a Internet. Constatou-se que existem poucos livros que tratam exclusivamente deste assunto. Os principais estão relacionados nas referências bibliográficas deste trabalho.

Além dos subsídios técnicos necessários à continuação do trabalho, este estudo inicial proporcionou a indicação de material didático ao LASHIP. Após avaliação interna, foi feita a solicitação de compra de alguns destes livros.

Dos artigos obtidos através da pesquisa, pode-se dizer que, de uma forma geral, dão suporte ao projeto, à medida que expressam o pensamento de especialistas no assunto. Outras fontes utilizadas foram catálogos técnicos e o manual de operação de um típico sistema de governo de navio, todos citados nas referências bibliográficas.

Neste momento da pesquisa, o objetivo é entender melhor o assunto para poder posteriormente compreender melhor as opiniões e pontos de vista dos especialistas nas futuras interações. Uma vez concluída esta tarefa, buscou-se escolher dentre as ferramentas disponíveis, quais seriam as mais indicadas para atingir o objetivo de extrair o conhecimento dos especialistas humanos.

Existem várias publicações que abordam as técnicas e ferramentas de aquisição de conhecimento. Dentre as várias existentes, cita-se entrevistas (estruturadas ou não), observação dos especialistas humanos no ambiente de trabalho e a troca de papéis entre o EC e o especialista no assunto.

Nesta pesquisa, aplicou-se, sempre que possível o conceito apresentado em GONZALEZ e DANKEL (1993), de que “o principal veículo de elicitação de conhecimento é a discussão entre o EC e o especialista no assunto.” Também foram bastante utilizadas entrevistas com perguntas diretas. Devido às distâncias entre os envolvidos, estas interações ocorreram na maioria das vezes via *e-mail*.

Embora estas técnicas possam ser consideradas bastante eficientes, a utilização das mesmas requer do EC um bom entendimento do assunto que está sendo abordado, pois caso contrário, é bem provável que os especialistas humanos sintam-se desmotivados com a interação e se desinteressem pelo projeto. Este é um dos fatos que contribui para o alongamento no prazo de desenvolvimento de SE. O fato do E.C ter tido uma preparação teórica prévia na área de hidráulica e experiência prática em manutenção facilitou bastante a tarefa.

O objetivo inicial das entrevistas foi identificar uma subárea do problema que estava sendo abordado que pudesse ser mapeada, de modo a viabilizar a obtenção de um protótipo inicial que executasse uma tarefa simples. Esta tarefa inicial, além de estar de acordo com a filosofia do modelo de desenvolvimento incremental, na qual um problema complexo para ser

resolvido deve ter a sua complexidade quebrada, permite verificar rapidamente se aquilo que está sendo implementando é realmente o que o especialista no domínio de conhecimento pensa.

Apresenta-se abaixo questionário enviado via *e-mail* para especialistas que trabalham com sistemas hidráulicos navais.

EC : Como você realiza um diagnóstico de falhas em um sistema hidráulico?

Especialista: *Caso eu não conheça o circuito, em primeiro lugar eu estudo o diagrama para me familiarizar com as possíveis funções que o sistema deve executar. Depois no campo, e de posse do diagrama, eu pergunto ao operador do sistema qual é o problema que o sistema está apresentando. Feito isto, eu testo o sistema tentando associar o problema a um componente específico.*

EC : Qual a importância da opinião do operador do sistema?

Especialista: *O relato do operador é bastante importante, porém eu não tomo como verdade absoluta. Eu guardo esta informação e comparo com aquela que o sistema me fornece quando eu o coloco em funcionamento e durante os testes que venham a ser necessários.*

EC : Existe uma seqüência definida de medições e/ou testes?

Especialista: *A princípio não, vai depender do sintoma que o sistema apresenta.*

EC : Existe algum componente que possa ser considerado mais importante em um sistema hidráulico?

Esp: *Sim, a bomba pode ser considerada o coração de um sistema hidráulico.*

Foi este trecho de entrevista que permitiu observar que componentes hidráulicos poderiam ser considerados as subáreas procuradas inicialmente, e que um destes componentes poderia ser mapeado antes do sistema como um todo. O resultado foi a escolha da bomba como o primeiro componente a ser considerado no estudo.

Após esta definição inicial, foi necessário descobrir quais seriam as entradas e saídas desejadas para a ferramenta computacional. Foi utilizada então a técnica saída-entrada-meio citada em (GONZALEZ e DANKEL, 1993) para organizar o conhecimento, de modo a manter o EC concentrado no cerne do problema e não desviar a atenção com questões que pudessem ser consideradas secundárias.

Tal técnica consiste em relacionar as respostas que se deseja obter com o protótipo a ser desenvolvido com as fontes de informação que serão utilizadas para deduzir estas respostas. As respostas representam as metas a serem atingidas pelo SE, e as fontes serão as possíveis entradas do sistema.

O uso desta técnica, somado às entrevistas já apresentadas nesta dissertação permitiu concluir que a saída deveria conter além do diagnóstico da falha, a recomendação técnica apropriada, e que as entradas corresponderiam aos sintomas ou efeitos mais comuns que o componente hidráulico pode apresentar. Este fato está em consonância com as necessidades estabelecidas pelos futuros usuários no item 4.2.2.3 .

Em entrevistas posteriores, pode-se identificar quais efeitos deveriam ser inicialmente considerados no estudo: elevação de temperatura, ruído, vazamentos e vibração.

Neste ponto do projeto, a dificuldade consistiu na determinação das regras que pudessem materializar as ligações entre as entradas e as possíveis saídas. Embora já se tenha dito, vale frisar que não existe uma forma padrão de abordar o problema. A forma como este desafio pode ser superado está diretamente relacionado com a profundidade que o EC enxerga o domínio de conhecimento que está sendo modelado.

Estas ligações formarão o núcleo do SE, pois são elas que irão constituir a base de conhecimento da ferramenta computacional. Devido à forma como os especialistas pensam, optou-se por materializar estas ligações na forma de regras. A Figura 4.6 abaixo ilustra o que foi apresentado.

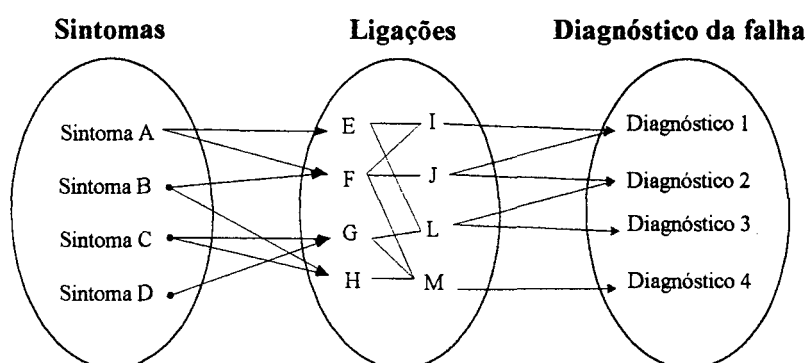


Figura 4.6 - Diagrama entrada/meio/saída (GONZALEZ e DANKEL, 1993)

É nesta etapa que são definidas entre outros pontos, as estratégias utilizadas pelos especialistas para obter a resposta, as prioridades e a ordem de execução das tarefas, que vão gerar os atalhos ou caminhos alternativos para a solução do problema.

Após bastante estudo teórico e diversas entrevistas, chegou-se a um conjunto de regras capaz de expressar algumas destas ligações. A representação destas ligações é apresentada no item que trata de representação de conhecimento.

Cita-se a seguir alguns problemas típicos desta fase, que podem ser minimizados na razão direta do entendimento que o EC tem sobre o assunto que está sendo abordado:

- dificuldade de compreensão das entrevistas devido a problemas de articulação do especialista e
- avaliação incorreta da abordagem com o especialista, devido ao pouco domínio do assunto que está sendo tratado.

4.3.2 Representação do conhecimento

Seguindo a filosofia do modelo iterativo incremental de desenvolvimento, uma vez adquirida uma certa quantidade de conhecimento, é hora de representá-lo da maneira mais adequada.

Existem várias técnicas que podem ser utilizadas para compilar o conhecimento obtido na tarefa anterior, dentre as quais pode-se citar: mapas cognitivos, redes de inferência, tabelas de decisão, etc. Como o detalhamento das técnicas supracitadas foge ao escopo do trabalho, serão feitas referências apenas àquelas utilizadas nesta pesquisa.

Para facilitar a comunicação com os especialistas, optou-se inicialmente por utilizar a técnica de rede de inferência para representar as ligações citadas na Figura 4.6. Esta representação foi utilizada como primeira opção pois supôs-se que ela possibilitaria uma razoável visão geral tanto dos antecedentes como dos conseqüentes destas ligações, o que tornaria as discussões com os especialistas mais fáceis. A Figura 4.7 mostra a rede de inferência feita para a bomba.

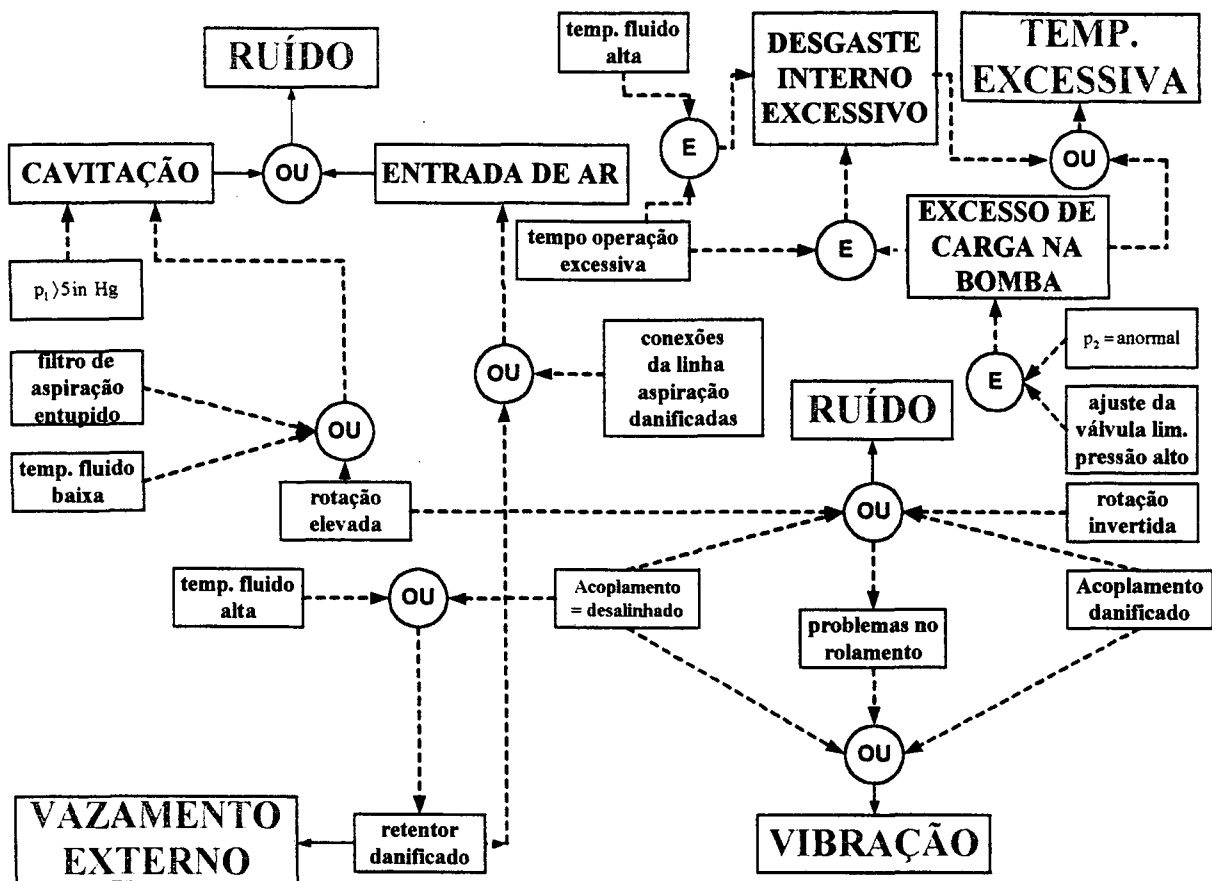


Figura 4.7 – Rede de inferência utilizada inicialmente pelo SEMaN

Infelizmente na prática, a rede de inferência apresentada na Figura 4.7 mostrou-se não ser muito simples de interpretar, o que acabou inviabilizando a sua utilização como ferramenta de representação de conhecimento. Foi necessário então, estudar alternativas que pudessem ser utilizadas não só para representar o conhecimento que estava sendo adquirido, mas também facilitar a interação com os especialistas, a confecção das regras e a hierarquização destas. Após estudo teórico sobre técnicas de representação de conhecimento e técnicas de análise de falhas, optou-se por utilizar a técnica de árvore de falhas apresentada no capítulo 3.

Segundo HALASZ et al. (1998), a árvore de falhas além de proporcionar uma forma natural de integração entre fabricantes, manuais técnicos e especialistas, permite também representar melhor o refinamento progressivo do conhecimento necessário à obtenção das possíveis saídas citadas na Figura 4.5.

Conforme apresentado no item 3.5.2, quando se utiliza a técnica de árvore de falhas, o problema mais geral, ou em outras palavras, os efeitos inicialmente considerados (apresentados no item 4.3.1) devem ser representados no nível mais alto e o refinamento ocorre identificando-se os eventos ou séries de eventos que contribuem diretamente para a ocorrência do evento que está no nível mais alto. Cada nó, representado por uma porta lógica, corresponde a um ponto de decisão no processo de diagnóstico de falhas e as ligações representam as relações que direcionam o fluxo de controle entre os nós ou portas lógicas.

O conhecimento reproduzido pela rede de inferência da Figura 4.6 foi novamente representado na forma de 4 árvores de falhas, cujos eventos de topo inicialmente considerados foram: temperatura excessiva, ruído, vibrações e vazamentos. A Figura 4.8 abaixo ilustra uma destas árvores de falhas, cujo evento de topo é temperatura excessiva.

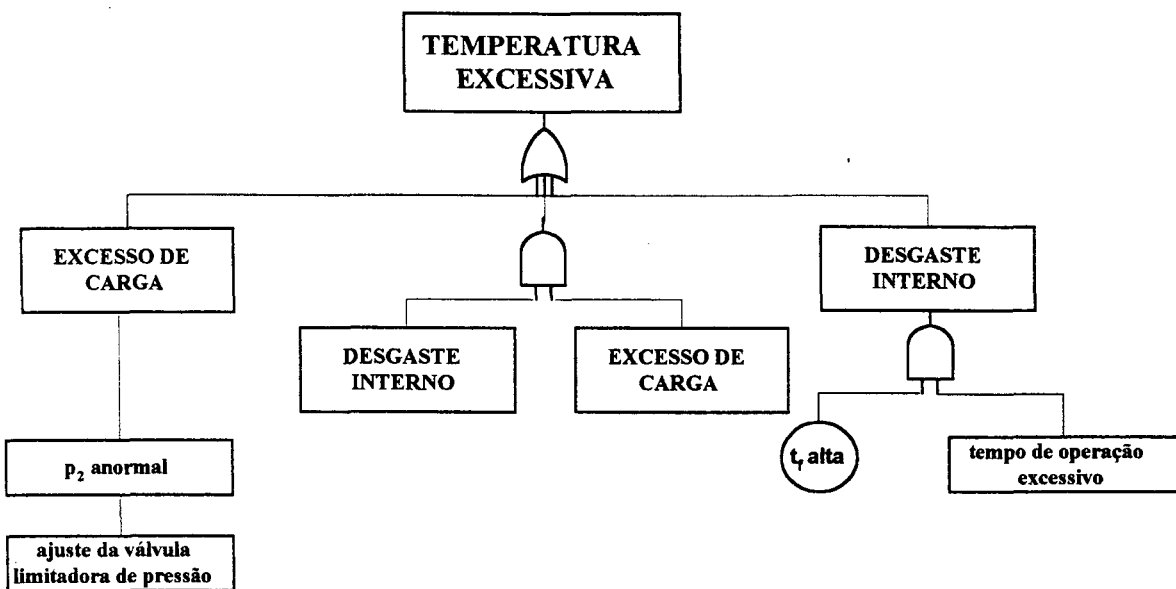


Figura 4.8 – Árvore de falhas gerada pela rede de inferência para o efeito temperatura excessiva

Nesta estrutura em que o sistema é visto empiricamente como um conjunto de entradas e saídas e não como um modelo matemático, a tarefa de refinar o conhecimento fica bastante facilitada, como pode ser percebido quando se analisa a ramificação da árvore que gera a causa excesso de carga. Pode-se dizer que a técnica de árvore de falhas auxilia a construção de hipóteses, o que facilita bastante a interação com os especialistas.

A partir desta forma de representação foi possível refinar o conhecimento, o que permitiu que se chegasse à árvore de falhas representada na Figura 4.9.

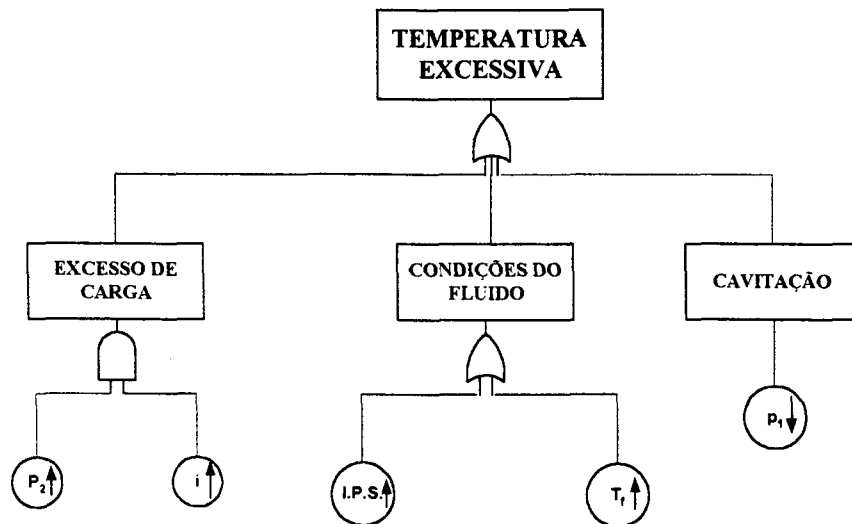


Figura 4.9 – Refinamento da árvore de falhas representada na Figura 4.8

Como exemplo de construção de hipóteses geradas pela árvore de falhas apresentada na Figura 4.9, pode-se citar as regras abaixo:

- SE efeito é temperatura excessiva
ENTÃO excesso de carga OU condições do fluido OU cavitação podem ser as causas
- SE p_2 está alta E i está alta
ENTÃO excesso de carga pode ser causa para temperatura excessiva
- SE t_f esta alta OU ips esta alto
ENTÃO condições do fluido pode ser causa para temperatura excessiva
- SE p_1 esta incorreta
ENTÃO cavitação pode ser causa para temperatura excessiva

O Anexo 2 apresenta algumas das análises de falhas feitas durante o desenvolvimento do protótipo SEMaN.

4.4 Implementação Computacional

Uma vez definido um grupo mínimo de regras capaz de formar a Base de Conhecimento, fez-se necessário implementá-lo computacionalmente. Para tanto, é necessário primeiro definir a arquitetura funcional da ferramenta computacional, ou em outras palavras, como será o fluxo de informações no protótipo.

4.4.1 Arquitetura funcional do Protótipo

A arquitetura funcional do protótipo está representada na Figura 4.10. A representação apresenta a separação entre a Base de Conhecimento, ou seja, das partes relacionadas com a manipulação do conhecimento, e os blocos encarregados de manipular as entradas e saídas do sistema (ALVES e SILVA, 2000).

Como já citado, este é um ponto comum no desenvolvimento de SE, pois proporciona a grande vantagem de modificar o protótipo com mais facilidade, o que possibilita entre outras facilidades, a adaptação da ferramenta computacional para outros domínios de conhecimento que não a hidráulica. Além disso, esta arquitetura permite uma posterior expansão para módulos independentes, o que ainda não ocorreu nesta fase inicial de desenvolvimento do protótipo.

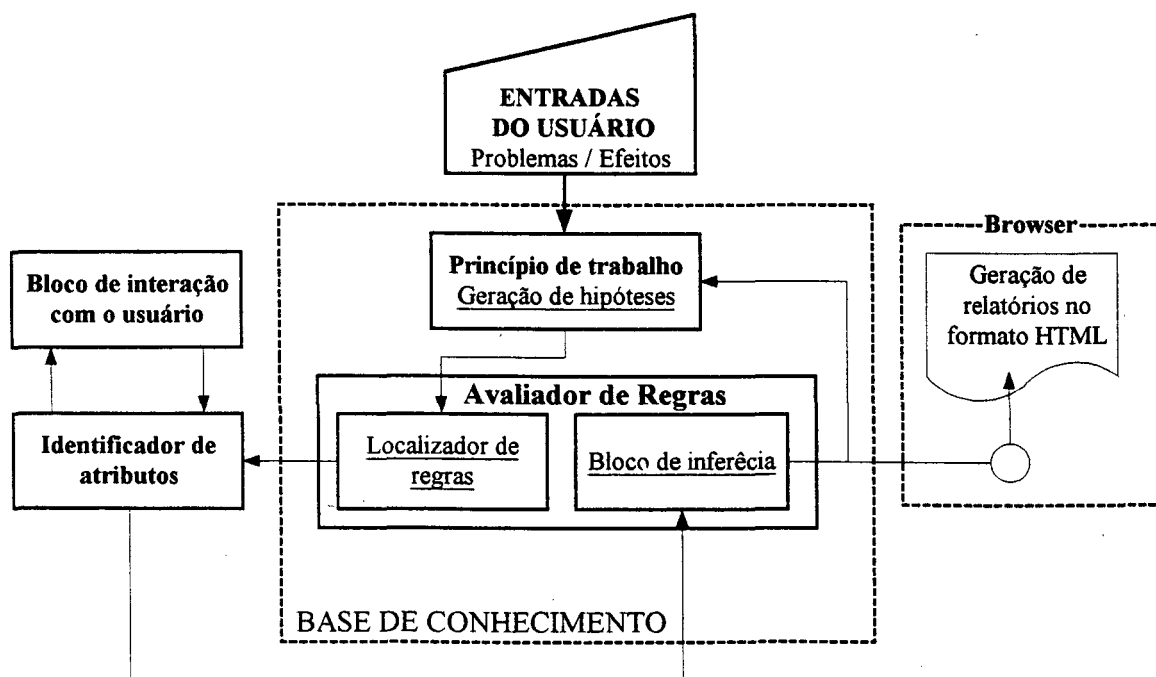


Figura 4.10 – Arquitetura funcional do protótipo SEMaN

A descrição apresentada a seguir permitirá uma melhor compreensão da arquitetura funcional do protótipo e de como ocorre o fluxo de informações.

4.4.1.1 Descrição de funcionamento

O protótipo ao receber como entrada a informação do problema ou do efeito indesejado que o sistema hidráulico de governo está apresentando, formula uma hipótese. **Se o efeito indesejado for ruído na bomba, o protótipo SEMaN formula a hipótese de que a causa pode ser cavitação.**

O Módulo Localizador de Regras é responsável por localizar e interpretar o conteúdo da Base de conhecimento que contém o domínio de conhecimento, já codificado na forma mais apropriada, de forma a selecionar apenas o que realmente interessa para a comprovação da hipótese formulada inicialmente. No exemplo acima, o Módulo Localizador de Regras ao interpretar o conteúdo da base de conhecimento, seleciona a regra **SE p_1 é ou está anormal ENTÃO cavitação pode ser a causa.**

Ao fazer isto, aciona o Módulo Identificador de Atributos que é responsável por formular a pergunta adequada ao usuário. No exemplo em questão, a pergunta formulada é **Qual a leitura de pressão na linha de aspiração da bomba?**

Ao receber a resposta, proveniente do Bloco de Interação com o usuário, o Módulo Identificador de Atributos depura esta informação, de modo que o Bloco de Inferência receba-a já classificada e livre de inconsistências. **O valor fornecido pelo usuário é então depurado e classificado em normal e anormal.**

Ao receber a informação, o Bloco de Inferência compara-a com o pedaço de conhecimento inicialmente selecionado, que pode comprovar a hipótese formulada inicialmente. Se não for possível comprovar a primeira hipótese formulada, ou se houver mais de uma causa, a iteração é repetida até que se chegue a uma solução satisfatória.

Quando se chega à solução final, o Bloco de Inferência aciona o Bloco Gerador de HTML que apresenta o relatório técnico final ao usuário. Este bloco é uma característica adicional e que pode ser bastante útil, tendo em vista o uso crescente da Internet.

O Anexo 8 ilustra a descrição de funcionamento do protótipo SEMaN. 

4.4.2 Estrutura do protótipo

Após a apresentação da arquitetura funcional e da descrição de funcionamento do protótipo, será feita a seguir, uma descrição dos componentes dos blocos apresentados na Figura 4.10, cuja forma seguirá o proposto em SILVA (1998).

4.4.2.1 Classes

Esta seção apresenta as principais classes representadas no protótipo, com as suas respectivas funcionalidades e atributos.

Classe CIRCUITO HIDRÁULICO – esta classe mapeia os parâmetros do circuito hidráulico. Seus principais atributos estão descritos abaixo:

- pressão de trabalho,
- pressão na linha de aspiração,
- pressão na linha de descarga,
- temperatura do óleo e
- índice de contaminação permissível.

Classe COMPONENTE – esta classe engloba todos os componentes do circuito hidráulico. Os principais atributos desta classe estão descritos abaixo:

- identidade,
- tipo e
- função.

Classe GOAL – esta classe engloba as diversas hipóteses assumidas durante o processo de inferência. O principal atributo desta classe é o nome, que representa o objetivo que se deseja provar verdadeiro, em um verdadeiro exercício de lógica abdutiva.

A seguir, será apresentado na Figura 4.11 o diagrama de classes (citado em 4.2.4.1), que representa a perspectiva estrutural. A elaboração deste diagrama foi baseada na notação recomendada pela UML.

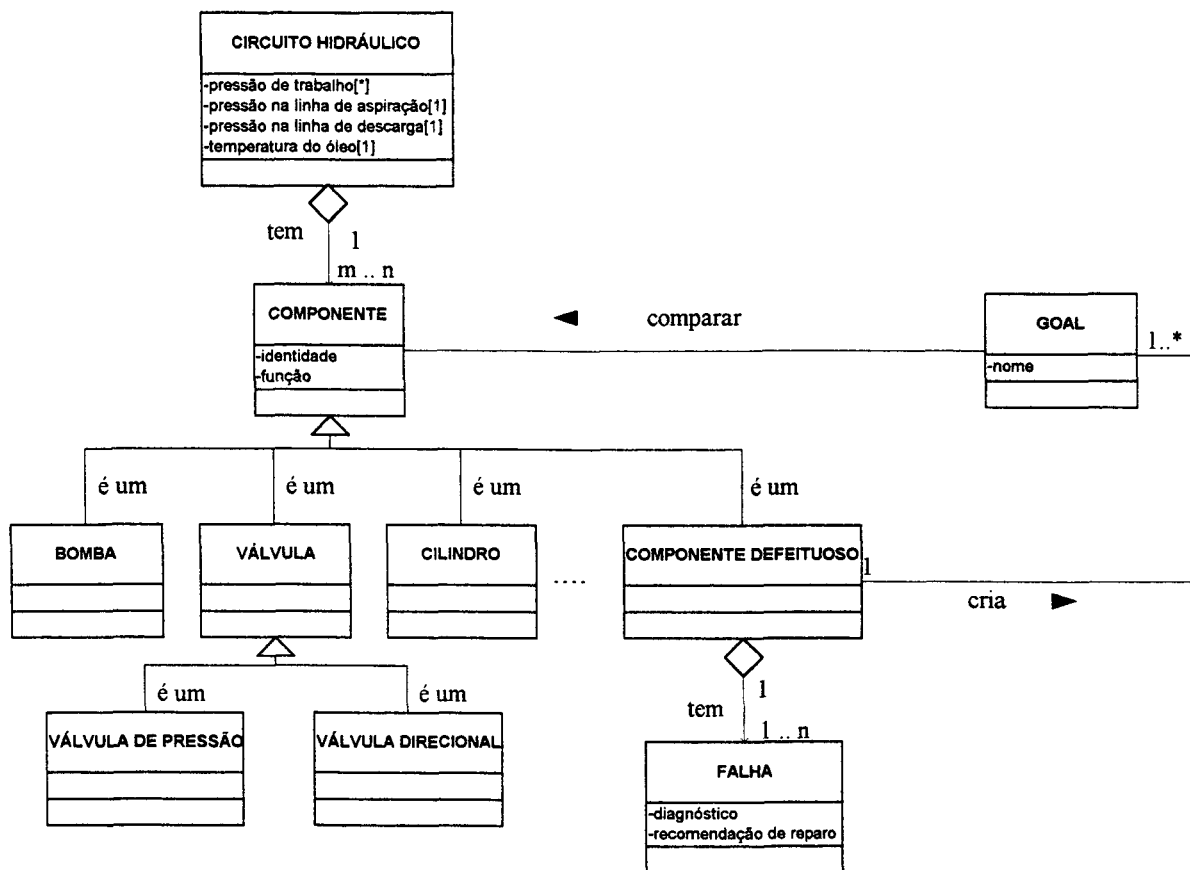


Figura 4.11 – Diagrama de classes do protótipo SEMaN

4.4.2.2 Regras

As regras e as classes, apresentadas na seção anterior, formam a Base de Conhecimento do protótipo. As regras representam as relações entre os efeitos e as causas prováveis. Como o ambiente CLIPS não permite a análise de regras, e isto é necessário quando se utiliza encadeamento reverso como forma de inferência, estas regras foram transformadas em fatos. Este artifício, além de possibilitar a implementação computacional deste tipo de inferência, também torna mais fácil a execução do mecanismo de explicação.

Além desta importante função, neste protótipo, as regras também foram utilizadas para controlar o fluxo de informações do protótipo, pois conforme apresentado por SILVA (1998), um SE não é um programa procedural, onde o desenvolvedor sabe especificar exatamente como a solução de um problema deve ser codificada. O objetivo principal da programação não procedural é ao apontar o objetivo, deixar o sistema determinar como obtê-lo. Em função desta característica, um dos pontos chaves na construção de SE é definir como o controle do fluxo de

informações será codificado no sistema. Em outras palavras significa demarcar o caminho que será utilizado para que o sistema alcance os objetivos previamente traçados.

Em aplicações de encadeamento direto tais como projeto, nota-se a clara divisão do processo em fases. Quando isto ocorre, pode-se controlar a passagem destas fases através de uma regra que manipula a ativação das outras regras. Esta regra por gerenciar outras regras é denominada meta-regra. Esta regra contém um tipo de conhecimento denominado de meta-conhecimento que foi mencionado no capítulo 2. SILVA (1998) apresenta uma explanação detalhada sobre este tipo de controle.

Entretanto quando se utiliza encadeamento reverso no ambiente CLIPS, este mecanismo de controle pode não ser eficaz, visto que a maioria das regras do processo de diagnóstico está concentrada praticamente em uma única fase.

A Figura 4.12 mostra que o controle ficou sob a responsabilidade da máquina de inferência, um módulo do ambiente CLIPS.

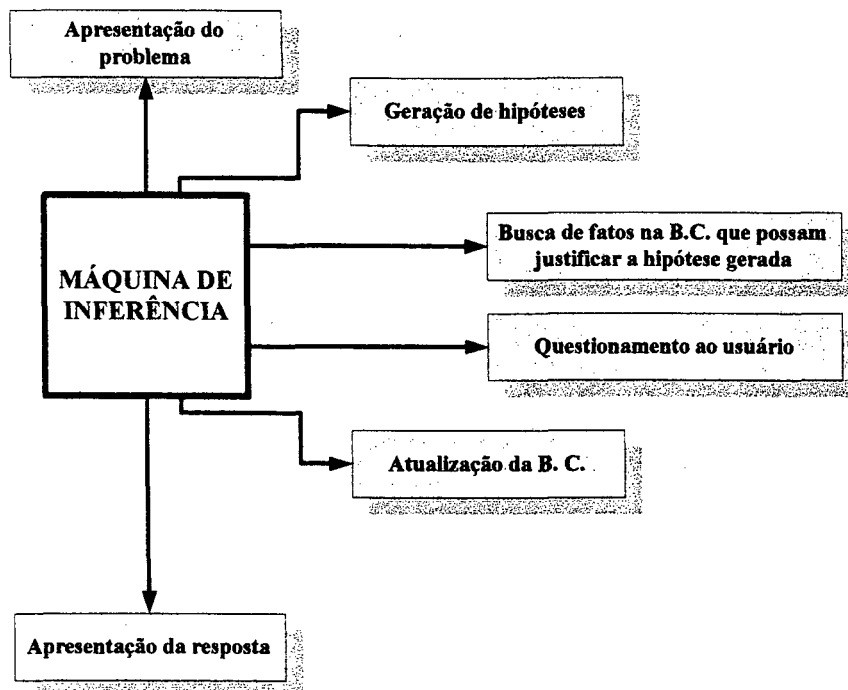


Figura 4.12 - Grupos de regras do protótipo SEMaN

Para que os blocos apresentados na Figura 4.12 sejam bem entendidos, será feita a seguir uma breve apresentação das regras que os compõem:

- **Apresentação do problema** – este grupo de regras permite ao usuário definir o diretório no qual o protótipo irá rodar, exibindo possíveis opções. Também tem como função receber a informação de qual problema ou efeito o circuito hidráulico está apresentando;
- **Geração de hipóteses** – este grupo de regras é responsável por gerar um conjunto de hipóteses que representam as causas que podem explicar o problema apresentado pelo usuário. Entre outras ações, é criado o objeto GOAL que representa a hipótese mais provável para o problema apresentado no bloco anterior;
- **Busca na base de conhecimento** – uma vez criado o objeto GOAL, o objetivo passa a ser provar que este é verdadeiro. Isto é obtido através da comparação dos atributos deste objeto com as premissas das regras que compõem a Base de Conhecimento, em um verdadeiro exercício de lógica abdutiva;
- **Questionamento ao usuário** – uma vez localizadas evidências que suportam a hipótese materializada no objeto GOAL, estas regras são disparadas fazendo as perguntas que podem confirmar ou não a hipótese que se está tentando provar e
- **Atualização da base de conhecimento** – com as respostas recebidas do usuário, a situação agora é conceitualmente diferente da anterior, pois dependendo das informações fornecidas pelo usuário, fatos inicialmente considerados verdadeiros podem ter se transformado em fatos falsos, o que acaba gerando a necessidade de atualizar a Base de Conhecimento para refletir exatamente o que está ocorrendo no processo de diagnóstico.

4.4.2.3 Mensagens

Uma vez feita a opção pela utilização da técnica de modelagem orientada a objetos, e tendo sido criadas instâncias, tornou-se possível manipular estes objetos/instâncias. No ambiente CLIPS, tal manipulação é feita através de mensagens que podem tanto manipular diretamente os atributos de uma determinada instância como o comportamento de uma classe. As ferramentas que permitem a aplicação das importantes propriedades da modelagem orientada a objetos mencionadas no capítulo 2 são as mensagens.

Dentre as propriedades citadas, uma foi de especial utilidade neste trabalho: polimorfismo. Conforme apresentado em SILVA (1998), polimorfismo é a propriedade através da qual as mensagens enviadas a uma classe são herdadas pelas sub-classes, característica que possibilita a manipulação de objetos diferentes destas sub-classes, através de uma única mensagem genérica enviada a um objeto. Isto permite que uma mesma mensagem seja respondida de diversas formas (polimorfismo). Para ilustrar a aplicação desta propriedade, apresenta-se a seguinte mensagem já na sintaxe correta do ambiente CLIPS.

MENSAGEM: (send ?componente ?diagnóstico)

O ponto de interrogação significa que tanto componente quanto diagnóstico são variáveis, ou seja, podem assumir diferentes valores, dependendo do contexto em que forem utilizados, o que possibilita que cada objeto filho da classe COMPONENTE receba a mensagem que contém o diagnóstico (de maneira genérica) e execute a ação que lhe cabe. Como foi apresentado, isto é alcançado com uma única mensagem a um objeto.

4.2.4.4 Geração de arquivos HTML de saída

O fato de o ambiente CLIPS ter a sua interface limitada a textos, fez a idéia apresentada em SILVA (1998) ser de vital importância para a execução do protótipo.

A idéia consiste na geração de arquivos semelhantes aos gerados pela linguagem *HTML* (*HyperText Markup Language*). HTML é uma linguagem não proprietária que se tornou padrão para publicação de documentos na Internet, devido à facilidade com que pode ser criada. A sua origem pode ser vinculada às idéias propostas por VANNEVAR BUSH (1945) no artigo *As we may think*, onde ele descreve um sistema de hipertexto auxiliado por computador denominado *memex*.

Para a hidráulica, a tendência de envolvimento com a rede também é um fato que pode ser constatado por quem atua direta ou indiretamente nesta área. Dentre as diversas pesquisas e publicações que vem tratando o tema, cita-se a pesquisa *Internet and Fluid Power* apresentada por HENEY (1998) no artigo *Fluid Power: 2000 and beyond – a blueprint for the future* publicada na revista *Hydraulics and Pneumatics* edição especial de 50 anos. Dentre os diversos pontos citados pelos especialistas, destacam-se:

- redução do tempo de obtenção da informação;
- criação de um novo canal de distribuição;
- possibilidade de disponibilizar informações técnicas por uma nova forma e

- facilidade de comunicação para resolução de problemas técnicos.

Percebe-se então que a utilização de arquivos neste formato possibilita mais do que uma alternativa de apresentar diagramas esquemáticos, pois permite usufruir as vantagens apresentadas acima, além de possibilitar o uso da ferramenta computacional em uma rede interna (Intranet).

CAPÍTULO 5

VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO SEMAN

5.1 Conceitos Iniciais

Segundo GONZALEZ e DANKEL (1993), a ação de garantir Qualidade ao *software* vem ganhando cada vez maior importância, devido em grande parte ao aumento do tamanho e da capacidade dos *software* modernos. Este capítulo descreve como este tema foi abordado nesta pesquisa, as ferramentas utilizadas e os princípios nos quais elas se basearam. Para que todo o processo seja bem entendido, inicialmente será apresentado o que vem a ser Qualidade e como esta pode ser agregada a um SE.

Pode-se dizer que o conceito de Qualidade foi primeiramente associado à definição de conformidade às especificações, evoluindo depois para satisfação do cliente. Atualmente, a norma brasileira que trata do assunto (NBR 8402), define Qualidade como sendo a totalidade das características de uma entidade que lhe confere a capacidade de satisfazer necessidades explícitas e implícitas.

Conforme apresentado em BARRETO (www.barreto.com.br/qualidade), percebe-se que esta definição formal exige alguns complementos, quais sejam:

- entidade, que é o produto do qual se está falando, (bem ou serviço);
- necessidades explícitas, que são as próprias condições e objetivos propostos pelo produtor e
- necessidades implícitas, que incluem visões subjetivas relativas às diferenças entre os usuários.

BARRETO (www.barreto.com.br/qualidade) cita também um aspecto interessante da qualidade, o qual não pode ser esquecido. Qualidade, para existir, deve ser reconhecida. O reconhecimento pode vir do cliente ou formalmente de organismos normalizadores que podem ser de nível nacional ou internacional (como a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - ou a *International Organization for Standardization - ISO* -).

Embora neste trabalho se considere tanto SE como *software* convencionais, produtos, deve-se reconhecer que existem algumas diferenças entre um *software* convencional e um SE que influem na percepção de Qualidade. A mais significativa talvez seja a missão a que ambos se propõem cumprir. GIARRATANO e RILEY (1993) observam que o termo missão refere-se ao objetivo geral não só do produto, mas também da tecnologia.

5.2 Qualidade de *Software*

Após identificar que Qualidade é um atributo importante que não pode deixar de ser perseguido, seja no desenvolvimento de produtos industriais, *software* convencionais ou SE, deve-se estudar formas de obtê-la. O modo mais simples talvez seja visualizar qual é o objetivo do produto, seja ele qual for, e associar métricas que possam indicar de uma forma clara se estas metas estão sendo atingidas.

Neste contexto, as métricas seriam então características que, quando observadas, indicariam se existe Qualidade ou não. Para que as métricas utilizadas tenham valor, elas devem sempre que possível estar associadas a padrões e ser reconhecidas formalmente.

Antes de prosseguir na busca destes parâmetros, é importante apresentar que existem basicamente duas formas de se obtê-los. Estas duas maneiras distintas são apresentadas na forma de opiniões de dois estudiosos da área de IA.

PENDERSON apud GONZALEZ e DANKEL (1993) entende que SE e *software* estão inseridos em um mesmo contexto, quando afirma que “muitos desenvolvedores pensam que projetos de SE estão completamente fora do contexto do desenvolvimento de *software* tradicional. Muitos desenvolvedores ignoram que técnicas de análise padrão podem ser usadas em todas as aplicações de *software*, pois SE também são *software* embora utilizem novas idéias e técnicas”.

Com esta linha de pensamento, chega-se à disciplina que ajuda a entender o processo de desenvolvimento de programas convencionais: a Engenharia de *Software*. É ela que estuda a aplicação prática do conhecimento científico no projeto, construção de programas e na documentação requerida para desenvolver, operar e manter esses programas, e foi por meio desta área de estudo que surgiram normas (apresentadas no Anexo 3), que apresentam padrões que

devem ser observadas em um *software* para que este seja reconhecido como um *software* de Qualidade.

Por outro lado, IGNIZIO (1991) não concorda com tal opinião ao afirmar que, embora seja correto dizer que algumas linhas de caráter gerais possam ser aplicadas na avaliação de SE, esta deve ser conduzida de uma forma bem mais específica, enfocando os pontos abaixo:

- justificativa para o emprego do SE;
- validação da base de conhecimento e
- verificação do desempenho do SE

Analisando estes dois pontos de vista, algumas das normas citadas no Anexo 3 e publicações que abordam o tema, chega-se às seguintes conclusões:

- da mesma forma que nos produtos industriais, um processo de desenvolvimento baseado em procedimentos sistematizados é um passo importante para a obtenção de Qualidade em *software* ou SE, embora isto na maioria das vezes não ocorra na prática e
- não existe um consenso sobre o que realmente seja Qualidade, nem quais são as métricas que levam a esta importante propriedade, que é capaz de distinguir um *software* ou SE de outro.

BELLOQUIN (1997) cita no artigo **Qualidade de software: um compromisso da Empresa Inteira**, que existem basicamente duas razões que podem explicar os fatos apresentados acima.

- 1) o uso de metodologias de desenvolvimento, treinamento contínuo dos desenvolvedores e métricas são considerados pela alta administração caros e causadores de alongamento dos prazos de desenvolvimento,
- 2) por outro lado, o desenvolvedor do *software* normalmente não aceita que ninguém lhe diga como deve fazer seu trabalho, afirmando que padronização de procedimentos e uso de *best practices* seriam uma violência à sua criatividade.

Pode-se também fazer um paralelo com o desenvolvimento de produtos industriais citando trecho do artigo *A Discussion on why design methods have not been widely used within industry* (Gouvinhas e Corbett, 1999), que afirma "... o projeto de novos produtos na indústria tem sido tradicionalmente abordado de uma forma bastante desestruturada".

Ambas as visões reforçam a importância de que para a obtenção da Qualidade, o desenvolvimento do produto, seja ele qual for, deve estar baseado em procedimentos sistematizados.

Considerando que os SE podem ser utilizados em aplicações consideradas críticas, tais como: diagnóstico de doenças, controle de plantas industriais, etc. , os pontos supracitados passam a ter contornos mais sérios. Para ultrapassar este obstáculo e agregar Qualidade ao protótipo, este projeto fundamentou-se em dois pontos:

- 1) uma metodologia de desenvolvimento bem estruturada e
- 2) um processo formal de verificação e validação.

Buscou-se dentro das dificuldades inerentes ao tema SE, descrever no capítulo 4 o primeiro ponto da forma mais detalhada e didática possível. O segundo será apresentado agora.

5.3 Dificuldades para avaliação de um SE

Antes de iniciar a apresentação do processo de verificação e validação do protótipo, cabe expor que avaliar um SE é bem mais difícil do que um *software* convencional, pois embora nesta linha de raciocínio se considere que ambos estejam inseridos no mesmo contexto, os programas tradicionais (conforme já visto no capítulo 2), apóiam-se na maioria das vezes em algoritmos que podem ser provados, fazendo o funcionamento incorreto deste tipo de programa ser facilmente identificável, mesmo se tratando de *software* grandes e complexos.

SE por outro lado, baseiam-se em conhecimento heurístico (também apresentado no capítulo 2), que pode ser válido em determinadas situações, mas não em outras. Não custa lembrar o apresentado em 2.9, para citar que o fato de uma conclusão parecer logicamente correta, não implica na verdade da mesma.

Deve-se portanto ter bastante cuidado quando se seleciona padrões e conceitos para avaliar a Qualidade de um SE, pois não existe norma específica que regule o assunto nem consenso entre os diversos estudiosos, e nunca é demais lembrar que as diferenças entre um SE e programas tradicionais podem influir na percepção da Qualidade (vide tabela 2.2).

NOYES (1992) cita algumas dificuldades que surgem quando se avalia SE:

- os próprios especialistas humanos no domínio de conhecimento raramente são avaliados de forma objetiva e
- embora em teoria, um processo de testes possa ser conduzido baseado nos mesmos padrões criados por sociedades profissionais para licenciar ou certificar indivíduos em uma dada área de conhecimento, não se pode selecionar um SE com base exclusivamente neste sistema. Para justificar a afirmativa, NOYES (1992) apresenta o argumento citado por GASC “esperar que um SE seja aprovado por especialistas 90 % do tempo, pode estar fora da realidade se estes especialistas concordam em apenas 75 % das vezes”. Esta consideração é especialmente apropriada para aplicações que envolvam diagnóstico de falhas, vide o apresentado no capítulo 2 (lógicas) e capítulo 3 (diagnóstico de falhas).

IGNIZIO (1991) reforça esta questão ao citar que “sabe-se que os SE estão aptos a produzir respostas quando questionados, entretanto ninguém pode se considerar seguro o suficiente para quantificar o grau de confiança destas mesmas respostas”.

5.4 O Processo de Verificação e Validação

5.4.1 Verificação

Embora o objetivo de ambos os termos seja agregar Qualidade a um SE, devido ao modelo de desenvolvimento adotado (iterativo incremental), a verificação precedeu a validação e foi realizada durante todo o desenvolvimento do protótipo SEMaN. Segundo GONZALEZ e DANKEL (1993), a verificação examina além da questão da conformidade às especificações, a consistência e a estruturação da base de conhecimento.

Neste projeto, a verificação foi executada pelo EC e visou principalmente a detectar erros de semântica e erros de sintaxe. Buscou-se evitar os erros de semântica, que na verdade representam modificações indevidas no conhecimento do especialista humano, através de um contato contínuo com os especialistas no domínio de conhecimento. Este contato ocorria na maioria das vezes por e-mail ou telefone, devido ao já citado problema da distância.

Os erros de sintaxe, ou em outras palavras, formas inadequadas de inserir o conhecimento no ambiente de programação (*shell* ou linguagem), eram checados sempre que ocorria um incremento na capacidade funcional do protótipo. Neste ponto vale ressaltar que a opção pela ferramenta de desenvolvimento *CLIPS* facilitou bastante a execução desta tarefa devido às facilidades que o ambiente proporciona. Além das verificações supracitadas, buscou-se também observar, à medida que as regras iam sendo inseridas, inconsistências do tipo: regras redundantes, em conflito, etc.

Houve também verificações realizadas por pessoas que não estavam envolvidas com o projeto (alunos do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC), cujo objetivo principal foi colher subsídios para a continuação da pesquisa.

5.4.2 Validação

A validação visou principalmente a checar se o problema estava sendo resolvido de forma coerente e se as saídas da ferramenta computacional poderiam ser consideradas corretas. SILVA (1998) apresenta uma interessante discussão sobre o que pode ser considerada uma saída correta para um SE. SILVA (1998) também afirma que para executar uma validação adequada, é necessário ter os objetivos do sistema computacional claramente definidos, pois são eles que vão servir de suporte para a criação das métricas que, em última análise, indicarão se os objetivos estão sendo cumpridos ou não. Este conceito vai ao encontro do exposto por alguns dos estudiosos da área e também da filosofia adotada neste projeto.

5.4.2.1 As métricas utilizadas na validação do protótipo

Nesta parte do projeto, buscou-se primeiramente identificar nas normas que tratam do assunto (Anexo 3), que atributos devem ser observados em um *software* para que este seja considerado de Qualidade. A grande vantagem de utilizar normas nesta primeira etapa é o fato de que embora elas não estejam voltadas especificamente para SE, elas apresentam um conjunto de informações já lapidado, que no entender do EC, facilita muito a etapa posterior, ou seja, a definição das métricas utilizadas no processo de validação do protótipo.

Para a conclusão da segunda etapa, foi necessário inicialmente pesquisar material bibliográfico sobre como são conduzidos testes em SE, estudar como se desenvolveu o processo de validação em alguns exemplos práticos (*IDS*, JETA), de modo a possibilitar a formação de uma base teórica que permitisse avaliar com consciência se os requisitos selecionados na etapa anterior poderia ser utilizados.

A primeira etapa foi fundamentada na norma ISO/IEC 9126. Esta norma identifica seis grupos principais de características, que apontam aspectos relevantes a serem observados em um *software*. As características são: funcionalidade, confiabilidade, usabilidade, eficiência, manutenibilidade e portabilidade.

Como portabilidade está relacionada com a utilização do programa em vários ambientes, e nesta fase do desenvolvimento do protótipo isto ainda não é previsto, esta característica foi descartada. As outras características foram mantidas para uma posterior avaliação de mérito.

A mesma atitude crítica utilizada na avaliação das características foi tomada com as sub-características citadas na norma, o que possibilitou o descarte de algumas métricas no presente processo de validação.

Neste ponto cabe a observação de BARRETO (www.barreto.com.br/qualidade), “embora a norma enumere características e sub-características que devam ser apreciadas, ela não define como quantificar cada um destes itens. Algumas características podem ser realmente medidas, como o tempo de execução de um programa ou o tempo médio entre falhas. Em outros casos, a característica é tão subjetiva que não existe nenhuma forma óbvia de medi-la, usabilidade é um exemplo”.

Se avaliação de programas tradicionais envolve tal grau de subjetividade, e como foi apresentado no item 5.3, avaliar um SE é mais difícil; como contornar esta questão no processo de validação formal do protótipo?

A resposta a tal questão vem com a análise dos objetivos do protótipo apresentados no capítulo 1 desta dissertação, ou seja, a missão que o protótipo se propôs a cumprir. A meta passou a ser criar métricas que fossem capazes de indicar se o objetivo que foi estabelecido inicialmente estava sendo cumprido ou não. Seriam estas as métricas que deveriam ser levadas

em consideração no processo de validação do protótipo. Elas estão representadas na Tabela 5.1 abaixo e seguem a forma apresentada na norma ISO/IEC 9126.

Tabela 5.1 - Métricas de avaliação do protótipo SEMaN

CARACTERÍSTICA	SUB-CARACTERÍSTICA	PONTO CHAVE A SER OBSERVADO
FUNCIONALIDADE	Adequação	Propõe-se a fazer o que é adequado ?
	Precisão	Faz o que foi proposto de forma correta ?
CONFIABILIDADE	Maturidade	Com que frequência apresenta falhas ?
USABILIDADE	Inteligibilidade	Entende-se o conceito e a aplicação ?
	Operacionalidade	Como é a operação ?
MANTENABILIDADE	Modificabilidade	É fácil fazer alterações ?

5.4.2.2 Os métodos utilizados na validação do protótipo

Já foi mencionado que não existe na literatura especializada um consenso sobre método ou procedimento que descreva como deve ser conduzida a validação de um SE. Neste ponto surge outra questão: qual o momento mais adequado para o início da mesma. Nesta pesquisa foi utilizada a mesma abordagem citada em SILVA (1998), que apresenta também pontos de vista de diversos autores sobre o assunto.

Esta abordagem significou expor os conceitos relativos ao protótipo antes de se iniciar efetivamente a avaliação do mesmo, ou seja, a validação começou na especificação do projeto, que teve a sua proposta formalmente aceita, na forma de um Projeto de Dissertação de Mestrado (PDM), por uma banca de examinadores. Esta proposta esteve desde o início ligada também à Marinha do Brasil, instituição à qual pertence o EC .

Mesmo durante a implementação do protótipo, houve o cuidado de se submeterem os conceitos do protótipo na forma de artigos técnicos a revistas especializadas e conferências nacionais e internacionais citadas a seguir:

- ALVES, Guilherme Dionizio, SILVA, Jonny Carlos da. “A Inteligência Artificial no suporte à manutenção da hidráulica naval – oportunidade e desafio.” In: **Revista Marítima Brasileira**. Rio de Janeiro, n.13, p.195-206, out. 2000.
- ALVES, Guilherme Dionizio, SILVA, Jonny Carlos da. “Designing a Tool For Ship Knowledge Management.” In: **Proc. ICED’ 01**, Glasgow, 2001, Artigo em análise após aceite do resumo.

Esta abordagem foi importante não só para consolidar os conceitos envolvidos na pesquisa, como também para justificar a viabilidade do protótipo. Entretanto só isto não garantia nem identificava o grau de aderência da ferramenta computacional aos objetivos vislumbrados inicialmente.

Para atingir tal meta, foi necessário não somente identificar que métricas seriam utilizadas, mas também encontrar uma forma prática de fazer as opiniões das pessoas escolhidas para testar o protótipo quantificarem o grau de aderência a estas métricas. Para isto, foi feito um questionário (Anexo 4), cujo objetivo foi além de expor a pesquisa que se estava desenvolvendo, formular perguntas aos avaliadores. Procurou-se transformar as questões subjetivas que normalmente são apresentadas em questões abertas em perguntas fechadas com respostas sim/não.

Outro ponto que mereceu atenção foi a definição das pessoas que iriam testar o sistema. Elas foram divididas em grupos. A divisão em grupos objetivou a obtenção de um maior homogeneização das respostas, o que em tese diminui o risco de conclusões errôneas e/ou precipitadas por parte do EC. Estes grupos estão apresentados abaixo:

- primeiro grupo constou de alguns alunos do Programa de Pós Graduação em Engenharia-Mecânica da UFSC com algum conhecimento em hidráulica (todos os escolhidos estavam à época desenvolvendo algum tipo de pesquisa no LASHIP). Este grupo tinha uma característica comum: todos possuíam conhecimentos de SE, pois tinham cursado a disciplina de Técnicas de SE aplicadas ao projeto. A seleção destas pessoas visou a identificar se o fato do avaliador ter conhecimentos de IA influi ou não na avaliação do protótipo e principalmente agilizar o processo devido à proximidade física entre os avaliadores e o EC. Cabe citar que a validação iniciou pelos avaliadores do primeiro grupo, passando para os avaliadores do segundo grupo somente após implementar as devidas correções e
- o segundo grupo constou de profissionais da área de manutenção hidráulica naval com grande experiência prática, mas pouco ou nenhum conhecimento sobre IA. Neste grupo estão incluídos profissionais que trabalham no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (A.M.R.J.).

5.4.2.2 Resultados dos testes de validação

Os testes de validação foram feitos em duas oportunidades distintas. Na primeira, a função diagnosticar falha estava restrita a alguns componentes (bomba e válvula direcional). Nesta fase de desenvolvimento ainda não era possível identificar causas de falhas do sistema como um todo, o mecanismo de explicação não estava implementado e as páginas em HTML estavam bem simples.

O objetivo principal desta primeira bateria de testes com avaliadores externos foi verificar se os resultados apresentados correspondiam às capacidades funcionais já implementadas, o que está de acordo com o paradigma de crescimento gradativo adotado no projeto. Também procurou-se identificar o grau de aderência do protótipo às métricas apresentadas na Tabela 5.1.

A seguir serão apresentados e comentados os resultados obtidos no período de validação, respeitando a respectiva cronologia:

- ☞ Márcio Castelani (pertencente ao grupo 1), ao responder a pergunta sobre pane do protótipo, identificou a seguinte: “de todos os testes que realizei, a única pane ocorreu quando respondi ao sistema que o problema não desaparecera, após ele ter me apresentado o diagnóstico: -trechos de tubulação inadequadamente fixados podem causar vibração-, ele (o protótipo) entrou em **looping** infinito.”

EC : A identificação da falha mencionada acima mostrou que apesar da verificação do protótipo ter sido uma constante preocupação do EC , ela por si só não garantiu a ausência de erros, o que confirma a importância da validação. A correção da mesma mostrou-se simples de ser executada, fato que pode ser considerado positivo tanto para a característica mantenedibilidade como para a característica confiabilidade (ambas apresentadas na Tabela 5.1).

- ☞ Márcio Castelani, ao responder a pergunta sobre consistência do protótipo, identificou a seguinte falha, dada a seqüência de entrada abaixo:

Efeito apresentado pelo sistema hidráulico: (2) – ruído

É possível associar o efeito a um componente ? (n)

O ruído é intermitente ? (s)

Após identificar um problema, o sistema perguntou se foi encontrado problema na válvula de alívio – não

Qual a pressão na linha de aspiração ? 0.16 bar

É possível detectar junta solta ou danificada na linha de aspiração ? – não

Qual o nível do reservatório (1) – nível do reservatório baixo,

**** o sistema respondeu “Assume-se que pode haver ar no circuito. Trocar juntas danificadas...”, apesar de já se ter afirmado que não tinha sido possível identificar juntas danificadas.**

EC : Esta falha ocorreu devido a um entendimento indevido na aquisição de conhecimento, fato que levou à construção de um conjunto de regras incompleto para resolver o problema apresentado pelo avaliador. Para corrigir a falha, foi feito um replanejamento neste grupo de regras.

Além dos comentários apresentados acima, o avaliador cita ter achado o nível de clareza das perguntas e instruções bons para a fase de desenvolvimento que se encontra o projeto. As respostas deste avaliador para as partes 2 e 3 do Questionário estão apresentadas no Anexo 5.

- ☞ Paulo do Carmo (pertencente ao grupo 1), ao responder a pergunta sobre panes do protótipo, este avaliador identificou o mesmo problema citado por Márcio Castelani anteriormente. Com relação à consistência, cita ter sentido falta de alguns procedimentos técnicos citados no ambiente **CLIPS** e que não podiam ser visualizados nas telas do *browser*.
- EC : Esta observação embora verídica, já era esperada tendo em vista o pequeno número de funções implementadas naquela fase do projeto. As respostas deste avaliador para as partes 2 e 3 do Questionário estão apresentadas no Anexo 5.
- ☞ Fernando Furst (pertencente ao grupo 1 e com 15 anos de experiência prática em projetos de circuitos hidráulicos), cita também ter sentido falta de alguns procedimentos técnicos citados no ambiente **CLIPS** que não podiam ser visualizados nas telas do *browser*. Comenta que o fato do mecanismo de explicação ainda não estar implementado, deixa o avaliador em dúvida sobre determinadas respostas.
- ☞ Machado (pertencente ao grupo 2 e com aproximadamente 20 anos de experiência em testes de sistemas hidráulicos navais), apresentou inicialmente dois problemas que podem ser considerados semelhantes “*não consegui fazer o sistema funcionar, existe algum procedimento especial ?*” e “*no ambiente CLIPS, como faço para visualizar o diagrama do circuito hidráulico?*”

EC : Conforme citado anteriormente, os especialistas que realmente conheciam o sistema naval estavam fisicamente distantes do EC o que tornou o processo de validação mais interessante. Embora tivesse sido enviado um arquivo leia-me com instruções de operação, houve necessidade de elaborar um arquivo leia-me mais detalhado. É importante observar que embora a questão apresentada não possa ser diretamente associada ao desempenho do protótipo, mostrou que a questão da interface não pode ser desconsiderada e está diretamente relacionada com a característica usabilidade.

☞ Após resolvidas as dúvidas iniciais, Machado submete o protótipo a uma bateria de testes. Após concluí-la, apresenta sugestões para algumas seqüências de entradas do usuário que no seu entender irão melhorar o desempenho do protótipo. Ressalta porém que considerou o resultado geral bastante interessante.

Seqüência 1:

Opção inicial (2) - falhas nos principais componentes

*Efeito apresentado pelo sistema hidráulico: (1) elevação de temperatura
(n) não se consegue associar a falha a um componente do sistema*

**** ONDE O PROGRAMA SUGERE A VERIFICAÇÃO DE NÍVEL DE FLUÍDO NO RESERVATÓRIO, A LÓGICA SERIA PESQUISAR INICIALMENTE COMPONENTES DANDO PASSAGEM (INTERNAMENTE).**

EC : Esta observação será considerada na implementação de futuros incrementos.

continuando:

Qual o nível de óleo no reservatório ? (1) nível baixo

**** ONDE O PROGRAMA SUGERE RECOMPLETAR O NÍVEL, ANTES CONTUDO, DEVE-SE FAZER UMA PESQUISA CRITERIOSA PARA DE DESCOBRIR A RAZÃO DESTA PERDA, E SÓ APÓS CONHECER A RAZÃO E CORRIGI-LA, RECOMPLETAR O NÍVEL.**

EC : Esta observação será considerada na implementação de futuros incrementos.

continuando:

Após o sistema perguntar se o problema desapareceu, adota-se a opção “não desapareceu o problema”

**** DEVE-SE VERIFICAR AS CONDIÇÕES DE ASPIRAÇÃO DA BOMBA, POIS RESTRIÇÕES IMPOSTAS AO FLUXO COMO POR EXEMPLO: “FILTRO SUJO” E “RETENÇÃO BLOQUEADA”, PODEM ACARREAR MAU FUNCIONAMENTO.**

continuando:

Qual a temperatura do óleo ? (2) temperatura maior que 70 graus,

**** APÓS A VERIFICAÇÃO DO ÓLEO SUGERIDA PELO PROGRAMA E CASO CONSTATE-SE A PRESENÇA DE IMPUREZAS, DEVE-SE MANDATORIAMENTE SE FAZER FLUSHING DO SISTEMA.**

*continuando, e optando por (1) nível normal de óleo
pressão alta para o sistema
e temperatura abaixo de 70 graus*

**** A ANÁLISE DO ÓLEO É RECOMENDADA PARA OS DOIS CASOS.**

EC : Estas observações sobre óleo e *flushing* levaram ao desenvolvimento de perguntas, cujas respostas permitem ao usuário identificar com boa margem de segurança as condições do fluido. Estas perguntas baseiam-se em uma análise visual do óleo.

SEQÜÊNCIA 2:

*Opção inicial (2) - falhas nos principais componentes
Efeito apresentado pelo sistema hidráulico: (2) - ruído
(n) não se consegue associar a um componente
baixa pressão de óleo e
nível baixo de óleo no reservatório*

**** A RECOMENDAÇÃO DO PROGRAMA É TROCAR JUNTAS /OU APERTAR CONEXÕES DE COMPONENTES, E REMOVER O AR DO SISTEMA , MAS FALTOU RECOMPLETAR O NÍVEL DO ÓLEO.**

EC : Foi acrescentada a observação na recomendação técnica do protótipo.

*continuando
com a opção de ruído intermitente, de alta frequência
após ser verificado o ajuste da válvula de alívio*

**** RECOMENDA-SE EM ADIÇÃO A VERIFICAÇÃO DA CONTRA PRESSÃO DAS VV DIRECIONAIS (QUE PODEM ESTAR COM POR EXEMPLO COM OS CARRETÊIS TRAVADOS), QUE PODEM TAMBÉM CAUSAR RUÍDOS.**

EC : Esta observação será considerada na implementação de futuros incrementos.

*continuando:
(2) ruído
(s) associa-se a um componente (vv direcional)
a tensão de 115 V.*

****deve-se checar o correto funcionamento do carretel e o correto funcionamento dos pilotos.**

EC : Esta modificação foi implementada.

Seqüência 3:

*Efeito apresentado pelo sistema hidráulico: (3) vibração
(n) não se consegue associar a um componente*

**** DEVE-SE INCLUIR NO ROL DE POSSIBILIDADES A VERIFICAÇÃO DA HASTE DO CILINDRO (QUE PODE POR EXEMPLO ESTAR COM DESGASTE NOS ANÉIS OU COM EMPENO), QUE TAMBÉM É FONTE GERADORA DE RUÍDO.**

EC : Esta observação será considerada na implementação de futuros incrementos.

continuando:

*(3) vibração
(s) associada a componente*

**** INCLUIR NOVAMENTE A VERIFICAÇÃO DA HASTE DO CILINDRO, COMO DITO ANTERIORMENTE. EM ADIÇÃO, BOMBA E VV DIRECIONAL (QUE É MUITO BRUTA, RÍGIDA, DE POUCA FOLGA), SÃO DE POUCA POSSIBILIDADE DE GERAR VIBRAÇÃO.**

EC : Esta observação será considerada na implementação de futuros incrementos.

Seqüência 4:

*(4) vazamento
(s) associado a componente*

**** DEVE-SE INCLUIR AS DEMAIS VÁLVULAS EM GERAL, COMO OPÇÃO DE PROBLEMA.**

EC : Esta observação será considerada na implementação de futuros incrementos.

Finda esta primeira etapa de validação e considerando o relato dos avaliadores e a pontuação apresentada (Anexo 5), pode-se dizer que os resultados superaram as expectativas que antecederam esta fase do projeto.

Deve-se considerar que uma forma de melhorar a performance de um SE é através da expansão do seu conhecimento, que pode vir através da inclusão de questões adicionais ou do detalhamento das questões já existentes (ambas as formas sugeridas pelos avaliadores). Entretanto, seja qual for a opção, segundo o paradigma de desenvolvimento iterativo incremental adotado no projeto, isto ocorrerá de forma gradativa.

Após esta etapa de validação, foram implementadas algumas novas funções como: diagnóstico de falhas do sistema, implementação do mecanismo de explicação e telas de apresentação mais explicativas. Esta nova versão do protótipo é então submetida a uma nova bateria de testes de validação, cujos resultados são apresentados a seguir:

☞ Eduardo Cramer (pertencente ao grupo 2 e com aproximadamente 15 anos de experiência em testes de sistemas hidráulicos navais), ao avaliar a segunda versão do sistema, diz *“o mesmo é claro nas perguntas e instruções devido à objetividade das mesmas e à facilidade que dá ao usuário de relacionar os itens em questão com sua posição no circuito, muito embora ache que um programa como esse para ser considerado realmente eficaz teria que ser mais abrangente e ao mesmo tempo mais detalhado, com a inclusão dos demais componentes do circuito hidráulico. Após diversos testes, entendo que o princípio no qual o sistema está fundamentado está correto. Sabe-se que na prática é realmente difícil haver 100% de consenso na atividade de diagnóstico de falhas*

O sistema poderá facilitar o usuário, agilizando a identificação dos componentes que estão falhando, sem que este necessite de um grande conhecimento hidráulico, o que na minha opinião é uma boa contribuição.

Ao longo dos anos trabalhando em sistemas hidráulicos, pude observar que 80% dos problemas em máquinas do leme decorrem de problemas simples que poderiam ser identificados e sanados por sistemas especializados como este. Como exemplo desta afirmação apresento um e-mail recebido em minha empresa (Anexo 6). Se este navio dispusesse de uma ferramenta semelhante à que me foi apresentada, com certeza este transtorno teria sido evitado. Na prática, eu irei por telefone fazer o papel do sistema.

Ressalto que nos navios, normalmente a tripulação não tem prática em reparos de circuitos hidráulicos, além de dispor de poucos recursos em alto mar. Além disso, a máquina do leme é um equipamento intimamente ligado à segurança da embarcação, não podendo falhar ou permanecer inoperante por muito tempo, fatos que justificam o uso da ferramenta.”

5.5 Comentários Finais

Antes de comentar os resultados do processo de validação, cabe apresentar o conceito de protótipo apresentado por CHORAFAS (1990). Ele diz que se por um lado, protótipo pode ser considerado uma máquina imperfeita, por outro é uma plataforma muito útil, na medida que pode ser considerado uma bancada de testes para quem o está utilizando, pois fornece a possibilidade de experimentar idéias e melhora-lo com modificações rápidas.

Conforme entendimento de diversos autores, o processo de validar um SE envolve um alto grau de complexidade. Se além desta dificuldade, considerar-se o tempo disponível, o peçoal envolvido (apenas o EC) no projeto e o conceito de protótipo, conclui-se que os resultados obtidos foram favoráveis, apesar da segunda bateria de testes do processo de validação ter tido o seu período de duração menor do que a primeira, o que gerou resultados mais abrangentes. No próximo capítulo serão apresentados as principais questões relativas ao projeto.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

6.1 Preliminares

Até agora foram analisados e discutidos os principais pontos relacionados ao desenvolvimento de um protótipo computacional baseado na técnica de SE , para ser utilizado em um ambiente industrial cuja atividade predominante é a manutenção naval.

Tal ferramenta constitui uma aplicação prática de IA, que mesmo não podendo ser considerada inédita, já que a viabilidade técnica do uso da técnica de SE vem a algum tempo sendo investigada por diversas organizações industriais através de parcerias com instituições de pesquisa, tem os seus méritos.

Antes de discutir estas questões, cabe ressaltar que a tendência de utilizar soluções baseadas em conceitos da IA em aplicações práticas é um fato. Estas aplicações tanto podem estar relacionadas com situações corriqueiras do cotidiano, como problemas de organizações industriais. A primeira aplicação pode ser comprovada através do artigo **Fale que o Pc anota** de autoria de MOREIRA (2001), que discute o desempenho de um *software* já disponível no mercado, que é capaz de reconhecer a voz do usuário e transformá-la em texto escrito. Já a segunda foi amplamente discutida neste trabalho.

Os temas que este capítulo pretende abordar na sua primeira parte são as discussões relativas às principais questões levantadas durante o desenvolvimento e a validação do protótipo. A segunda está dedicada à apresentação das recomendações para futuros trabalhos.

6.2 Questões importantes

Esta seção pretende concluir o encadeamento iniciado no capítulo 2, abordando de maneira resumida algumas questões importantes sobre sistemas especialistas e mais especificamente o protótipo em questão. Não se pretende esgotar o assunto, mas apenas e tão somente levantar alguns pontos que suscitem discussão. Objetiva-se com isso colaborar para o crescimento deste campo de estudo e também gerar idéias para trabalhos posteriores nesta área.

Para facilitar o desenvolvimento do texto, os pontos chaves são colocados na forma de perguntas.

Talvez a primeira questão que venha a mente é, “se os SE modelam a capacidade de resolução de problemas de um especialista humano e os humanos têm grande capacidade de aprendizado, *o SE pode aprender ?*” Infelizmente, talvez a resposta mais adequada a esta pergunta seja a formulação de outra pergunta: “o que é o aprendizado e como este se processa?” Segundo RICH e KNIGHT (1994), só assim é possível responder à primeira pergunta. Um modo simples, mas nem sempre prático é através da atualização da base de conhecimento do SE pelo E.C.

Seguindo esta linha de raciocínio, o próximo questionamento seria: “*é possível desenvolver um SE sem a interação com o especialista humano ?*” A menos que o EC seja conhecedor profundo do assunto, em tese seria o mesmo que diagnosticar uma doença sem ter conhecimento de medicina. Muito provavelmente o resultado não seria dos melhores.

Outra pergunta interessante que cabe é, “*para se desenvolver um SE é necessário uma linguagem ou um ambiente específico ?*” A resposta a esta questão é: não, pois em tese é possível escrever qualquer programa em qualquer linguagem.

“*Quando se desenvolve um SE , está se desenvolvendo um produto ou um serviço?*” Apesar de possuir características específicas, o SE é um programa computacional, e como tal pode ser considerado um produto.

Quando se fala em SE , na maioria das vezes, associam-se vantagens; a pergunta agora é, “*existe algum problema que pode ser gerado pela implementação de um S.E em uma organização industrial ?*” A resposta é sim e, na maioria das vezes está associado a responsabilidade e direitos. BELOHLAV et al. (1997) no artigo *Ethical Issues of Expert Systems* faz uma apresentação interessante sobre este tema.

A seguir serão colocadas questões mais especificamente relacionadas com o protótipo SEMaN, cujo desenvolvimento está se dissertando.

6.3 Contribuições da pesquisa

Inicialmente, as questões a serem discutidas nesta parte do trabalho são aquelas relativas ao objetivo proposto pela pesquisa e as contribuições que se buscou alcançar.

Considera-se que tanto a exposição formal da base teórica utilizada nesta pesquisa (capítulos 1, 2, 3 e 4), como o processo de validação apresentado no capítulo 5, serviram para mostrar que o protótipo tem potencial suficiente para alcançar o objetivo citado no item 1.3.1. Entende-se por exposição formal da base teórica, a apresentação dos principais conceitos desta pesquisa na forma de resumos e artigos em eventos científicos (congressos, revista técnica e etc.).

Além dos pontos citados acima, deve se considerar o apresentado por LACERDA e Júnior (1993), que o simples fato de se evitar chamadas de serviços que possam ser considerados não muito complexos, por si só já representa economia de recursos, à medida que o problema pode ser equacionado sem a necessidade de deslocar mão de obra especializada, questão que vai ao encontro da contribuição citada no capítulo 1 (aumentar a eficiência do processo de manutenção).

Este raciocínio está de acordo com o apresentado no item 3.6, mais especificamente com a consideração apresentada por MONCHY (1989), de que a separação entre “usuários e manutenção” faz diminuir a probabilidade de descoberta rápida de uma falha.

Entretanto, de todas as contribuições que se pode discutir nesta dissertação, talvez a de maior relevância seja trazer para a realidade industrial, concepções teóricas formuladas em instituições de pesquisa. Este assunto é tão importante, que foi o tema da 13^a Conferência Internacional em Engenharia de Projetos (*ICED*) – Construindo parceria entre pesquisa e indústria –. Este ponto vai ao encontro da contribuição citada no capítulo 1 (facilitar a transferência de tecnologia entre instituições).

Outra contribuição importante e que não pode ser esquecida, é o fato do protótipo SEMaN facilitar a documentação do conhecimento de uma área (hidráulica naval).

6.4 Principais Tópicos da Pesquisa

Segundo FERREIRA (1986), estratégia é a arte de aplicar os meios disponíveis com vista à consecução de objetivos específicos. No contexto desta pesquisa considera-se que de todas as decisões tomadas antes e durante o desenrolar do projeto, algumas merecem ser consideradas estratégicas, pois foram principalmente elas que possibilitaram alcançar o atual estágio de desenvolvimento do protótipo. São as discussões a respeito destas decisões que serão apresentadas a seguir.

Por considerar que, além de terem sido amplamente debatidas neste trabalho, já existe uma discussão detalhada apresentada por SILVA (1998) a respeito das questões relativas à justificativa para a escolha da hidráulica como área de aplicação para SE e as diferenças entre programação convencional e engenharia de conhecimento, não serão feitas considerações adicionais sobre estes dois tópicos.

Dois outros pontos também são considerados essenciais à pesquisa: a decisão de considerar o protótipo um produto e opção pelo modelo de desenvolvimento iterativo incremental.

A primeira decisão possibilitou utilizar conceitos de uma metodologia que, embora elaborada para o desenvolvimento de produtos industriais, mostraram-se flexíveis o bastante para facilitar a decomposição do problema proposto. Esta decomposição fica materializada na exposição das tarefas executadas nas diversas etapas do processo de projeto apresentado no capítulo 4.

A segunda opção permitiu que a identificação do momento de avançar, fosse percebida com mais facilidade, levando os problemas complexos a não serem resolvidos de uma única vez. Isto foi obtido à medida que o modelo iterativo incremental elimina limites rígidos entre as diversas fases do processo. Entretanto, deve-se ressaltar que foi necessária disciplina para seguir este modelo, uma vez que a tendência natural é “tentar resolver logo o problema e apresentar um resultado concreto”.

A proposta desta pesquisa de utilizar o protótipo como ferramenta de auxílio ao processo de tomada de decisão na área de diagnóstico de falhas, visando a uma melhora na atividade de manutenção fica bem fundamentada tanto teoricamente, quando se compreende a ligação da importância do diagnóstico para o reparo com a constatação de que seja qual for o tipo de intervenção de manutenção, o resultado acaba sempre sendo este tipo de intervenção (MONCHY, 1989). As opiniões de especialistas em manutenção apresentada em 4.2.1.1, corroboram na prática esta afirmativa.

Das questões relativas a SE apresentadas no item 3.7, a que diz respeito a aprendizagem em SE, é de especial importância e merece ser incluída neste item.

Em princípio, a inclusão de um módulo que possibilitasse a certos usuários incluir conhecimento na base de conhecimento poderia ser uma forma bastante limitada de tentar melhorar a eficiência da ferramenta computacional e alcançar este objetivo. Entretanto, deve-se considerar que nesta linha de raciocínio, dificilmente seria possível manter a consistência da base de conhecimento, o que poderia trazer mais desvantagens do que vantagens.

Como última discussão a ser abordada neste item, inclui-se o processo de validação apresentado no capítulo 5. Apesar de não haver um consenso entre os estudiosos do assunto sobre o momento certo de se iniciar, nem a forma como deve ser conduzido, o fato é que a validação é um processo cuja importância é fundamental em um projeto como este, e não pode ser deixada de lado. O retorno proporcionado àqueles que estão desenvolvendo o projeto, por si só justifica a sua existência.

Entende-se porém que o limite de tempo fixado para o projeto, impossibilitou este processo de ser integralmente explorado, principalmente na segunda bateria de testes, levando a um empobrecimento na qualidade destes. Entretanto é intenção continuar o desenvolvimento desta ferramenta computacional na Marinha.

6.5 Recomendações para trabalhos futuros

A complexidade inerente ao envolvimento dos campos de conhecimento utilizados nesta pesquisa implica na existência de muitos estudos que podem ser desenvolvidos.

Se a dificuldade de obter dados históricos confiáveis for vencida, de imediato duas linhas de estudo se apresentam.

A primeira seria incluir um módulo baseado na abordagem *CBR* (cujas linhas gerais foram brevemente expostas em 2.11). Neste módulo, casos passados de falhas poderiam ser utilizados para reforçar o diagnóstico apresentado pelo protótipo.

A segunda linha seria acrescentar incerteza ao método de inferência. Isto poderia ser obtido através do histórico das taxas de falhas dos componentes do circuito hidráulico em questão. Uma abordagem possível de ser adotada nesta linha de estudo poderia estar baseada em redes Bayseanas

Um outro estudo bastante interessante seria tentar desenvolver um protótipo baseado em um modelo comportamental do circuito, de forma semelhante ao descrito na parte que apresentou a inferência baseada em modelos item 2.11. Os resultados obtidos poderiam servir de base para uma análise mais detalhada entre as diferentes abordagens.

Os módulos abaixo poderiam ser acrescentados ao atual estágio do protótipo e com certeza seriam de grande utilidade prática na indústria:

- módulo para especificar os sobressalentes necessários à respectiva intervenção de manutenção;
- módulo para estimar algumas das métricas citadas no capítulo 3, tais como: tempo a ser gasto e custo estimado da intervenção de manutenção;
- módulo capaz de dar suporte a um monitoramento constante da qualidade do óleo e
- módulo para monitorar em tempo real os diversos parâmetros do sistema.

Desenvolver um protótipo totalmente integrado à Internet também é uma linha de estudo que não pode deixar de ser mencionada dada a grande importância e utilização que esta vem ganhando.

6.6 Comentários finais

Conforme já apresentado nesta dissertação, desenvolver um SE, mesmo com escopo limitado, requer um esforço intelectual considerável. No contexto desta pesquisa, pode-se dizer que o desenvolvimento do protótipo permitiu a integração de três áreas distintas de conhecimento: manutenção, hidráulica e sistemas especialistas. Além destas áreas, os conceitos de metodologia de projetos e técnica de modelagem orientada a objetos também foram bastante importantes.

Neste ponto, cabe enfatizar a observação apresentada por SILVA (1998), que a despeito do grande esforço despendido com a parte técnica, o desenvolvimento de um SE está além do que pode ser considerado por alguns críticos, como sendo apenas a tarefa de codificar algumas instruções em uma linguagem de computador.

Como última consideração, entende-se que embora a base esteja sólida, ainda existem alguns passos que devem ser feitos para tornar o protótipo um sistema operacional. Cita-se como principais um maior detalhamento de algumas questões já existentes, a inclusão de diagnóstico de falhas dos componentes não considerados neste estudo e a inclusão de uma interface gráfica que facilite a operação do *software*.

Independente da avaliação dos resultados obtidos, pode-se dizer que talvez o grande mérito desta pesquisa está no fato desta trazer para o campo material, assuntos que até bem pouco tempo eram discutidos por alguns poucos estudiosos apenas no plano das idéias (utilização de técnicas de IA para resolver problemas do dia a dia de indústrias) e longe da nossa realidade industrial.

Isto é conseguido na medida que se adquire conhecimento, desenvolve e submete o protótipo a um processo de validação, mesmo que este possa ser considerado limitado ou não ideal.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, Guilherme Dionizio, SILVA, Jonny Carlos da. "A Inteligência Artificial no suporte à manutenção da hidráulica naval – oportunidade e desafio." In: **Revista Marítima Brasileira**. Rio de Janeiro, n.13, p.195-206, out. 2000.
- ALVES, Guilherme Dionizio, SILVA, Jonny Carlos da. "Designing a Tool For Ship Knowledge Management." In: **Proc. ICED' 01**, Glasgow, 2001, Artigo em análise após aceite do resumo.
- ANDERS, James Sr. **Industrial hydraulics troubleshooting**. United States: Mc Graw-Hill, Inc, 1982.
- ATKINSON, R. M., MONTAKHAB, M. R., PILLAY, K. D. A., WOOLONS, D. J., HOGAN, P. A., BURROWS, C.R., EDGE, K. A., "Automated Fault Analysis for Hydraulic Systems Part 1: Fundamentals." In: **Proc. Inst. Mech. Eng.** 1992, 206 207.
- BACK, Nelson, FORCELLINI, Fernando A. **Projeto de produtos**. Apostila do Curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, 1999.
- BACK, Nelson. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1983.
- BAZOVSKY, Igor. **Reliability theory and practice**. New Jersey: Englewood Cliffs, 1961.
- BELLOQUIN, Átila. "Qualidade de Software: Um Compromisso da Empresa Inteira." In: **Developers' Magazine**, 1997. Disponível em: <<http://www.choose.com.br/artigos/html/textos/dm0697.htm>>. Acesso em: dez. 2000.
- BELOHLAV, Jim, DREHNER, David, RAHO, Louis. "Ethical Issues of Expert Systems." In: **The On-line Journal of Ethics**, Institute for Business and Professional Ethics, 1997, Disponível em: <http://www.depaul.edu/ethics/>. Acesso em: set. 1999.
- BILLINTON Roy, ALLAN, Ronald N. **Reliability evaluation of engineering systems: concepts and techniques**. New York and London: Plenum Press, 1983.
- BITTENCOURT, Guilherme. **Inteligência artificial: ferramentas e teorias**. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.
- BLANCHARD, Benjamin S., FABRYCKY, Wolter J. **Systems engineering and analysis**. 2nd Edition, Prentice-Hall, Inc., 1990.
- BLANCHARD, Benjamin S., VERMA, Dinesh, PETERSON, Elmer L. **Maintanability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management**, Jonh Wiley & Sons, Inc., 1995.
- BOOCH, Grady, **Object-Oriented Analysis and Design**. Inc: Addison-Wesley Publishing Company, 1994.

- BUSH, Vannevar. As we may think. In: **The Atlantic Monthly**, July, 1945. Disponível em: <<http://www.isg.sfu.ca/~duchier/misc/vbush/>>. Acesso em: jan. 2001.
- CARRICO, Michael A. , GIRARD, Jonh E. , JONES, Jennifer P. **Building Knowledge Systems – Developing & Managing rule-based applications –** . New York: McGraw Hill Book Company, 1989.
- CHORAFAS, Dimitris N. **Knowledge engineering: knowledge acquisition, knowledge representation, the role of the knowledge engineer, and domains fertile to A.I. implementation.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.
- DARWICHE, Adrian. “Model-Based Diagnosis under Real-Word Constraints.” In: **AI-Magazine**, 2000 Summer, American Association for Artificial Intelligence – pg 57-73.
- DE NEGRI, Victor Juliano. **Estruturação da modelagem de sistemas automáticos e sua aplicação a um banco de testes para sistemas hidráulicos.** Florianópolis: Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, 1996. (Tese em Engenharia Mecânica).
- DIAS, Acires. **Introdução à confiabilidade.** Apostila do Departamento de Engenharia Mecânica Florianópolis: UFSC, 1999.
- DIAS, Acires. **Metodologia para análise da confiabilidade em freios pneumáticos automotivos.** Florianópolis: Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, 1996. (Tese, Doutorado).
- DIAS, Acires., SANTOS, Cícero Mariano Pires dos. “O desenvolvimento tecnológico e a gestão da manutenção.” In: **12º Congresso Brasileiro de Manutenção.** Águas de Lindóia, SP: UNICAMP, 1999.
- DOORLEY, Richard B. “Expert Systems probe Hydraulic Faults.” In: **Machine Design**, 1989, June, pg 57-73.
- DUNN, Sandy. “Best Practice Maintenance Strategies for Mobile Equipment.” In: **Maintenance in Mining Conference**, Bali, March, 1997.
- DURKIN, John. **Expert systems: Design and development.** New Jersey: Prentice hall, 1994.
- ESPOSITO, Antony. **Fluid power with applications.** 5th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- FABRYCKY, VERMA Dinesh, PETERSON, Elmer L. **Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management.** Toronto: Wiley-Interscience Publication, 1995.
- FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa.** 2ª edição, J.E.M.M. Editores Ltda, 1986.
- FURLAN, José Davi. **Modelagem de objetos através da UML – The Unified Modelling language –** São Paulo: Makron Books, 1998.

- GENARO, Sérgio. **Sistemas especialistas: o conhecimento artificial**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1986.
- GIARRATANO, Joseph. **Clips reference manual. Basic programming guide**. Version 6.10, August 5th, 1998a.
- GIARRATANO, Joseph. **User's guide manual**. Version 6.10, august, 5 th, 1998b.
- GIARRATANO, Joseph., RILEY, Gary. **Expert systems: Principles and programming**. Boston: PWS publishing company, 1993.
- GONZALEZ, Avelino J., DANKEL, Douglas D. **The engineering of knowledge-based systems: theory and practice**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
- GÖTZ, WERNER. **Hidráulica, Teorias e Aplicações da BOSCH**, Hydraulics Division K6, Versão em língua portuguesa traduzida por C. Vieira de Castro, revista por Francisco Freitas, Departamento de Publicações Técnicas HP/VEK 2, 1991.
- GOUVINHAS, R. P., CORBETT, J. A discussion on why design methods have not been widely used within industry, In: **Proc. ICED' 99**, Munich, 1999.
- HALASZ, Michael., DUBÉ, François., ORCHARD, Bob. **The integrated diagnostic system (IDS): Remote monitoring and decision support for commercial aircraft – putting theory into practice**. 1998.
- HALASZ, Michel., DAVIDSON, Phillipe., ABU-HAKIMA, Suhayya., PHAN, Sieu. "JETA: A Knowledge-Based Approach to Aircraft Gas Turbine Engine Maintenance." In: **Journal of Applied Intelligence**, 1992, 25-46.
- HART, Anna. **Expert Systems: an introduction for managers**. Kogan Page Ltd, London, 1988.
- HENEY, Paul J., "Fluid Power: 2000 and beyond – a blueprint for the future." In: **Hydraulics & Pneumatics Magazine**, 1998, pg 68-80.
- HENLEY, E. J., KUMAMOTO, H., **Reliability Engineering and Risk Assessment**. Prentice-Hall, Inc. 1981.
- Historical projects**. <<http://smi-web.stanford.edu/research/history.html>>. Acesso em: set 2000
- HUBKA, V., EDER, W. E. **Theory of technical systems**. Germany: Springer-Verlag, 1988.
- IGNIZIO, James P. **Introduction to Expert Systems – The Development and Implementation of Rule-Based Expert Systems**. 1991.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). **Oil hydraulics and its application**. Course in Japan, 1991.

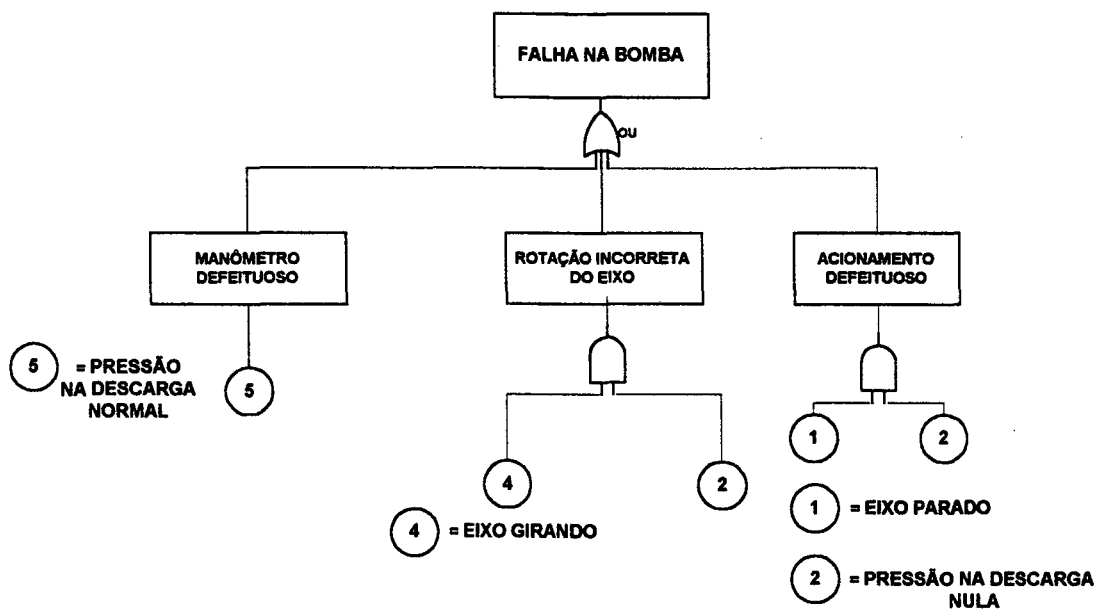
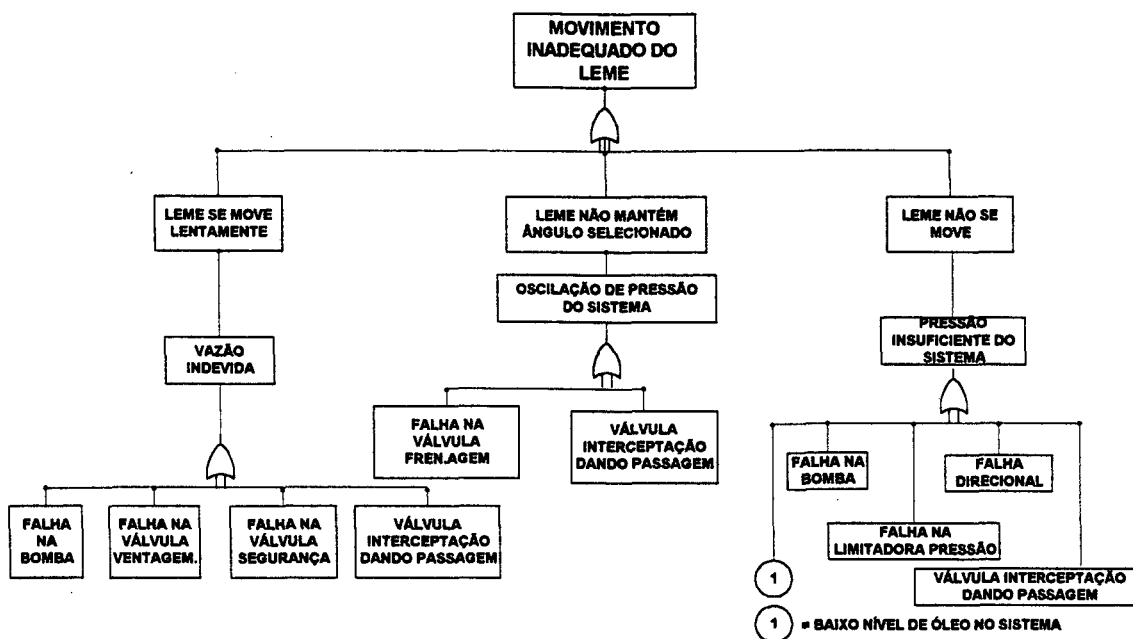
- LACERDA, Juarez Marques de, JÚNIOR, Pyramo Pires da Costa. "A informatização integrada da manutenção, seus desdobramentos e os sistemas especialistas." In: **12º Congresso Brasileiro de Manutenção**, 1993.
- LÉTOURNEU, Sylvain, FAMILI, A., MATWIN, Stan. **Discovering useful knowledge from aircraft operation / maintenance data**. 1997.
- MaCPHERSON, Randall T. "Factors Affecting Technological Troubleshooting Skills." In: **Journal of Industrial Teacher Education**, Vol 35, Number 4: Summer 1998.
- Manual de Hidráulica. **Hydraulic standards: lexicon e data**. England: trade and technical press, ltd, 1967.
- Manutenção em sistemas hidráulicos**. Festo didactic, 1992.
- MATOS, Frederico Freire de Carvalho. **Metodologia para planejamento e estruturação de sistemas de manutenção automotiva**. Florianópolis: Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, 1999. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica).
- McCARTHY, J., MINSK, M. L., ROCHESTER, N., SHANNON, C. E. **A Proposal for the Dartmouth summer research project on Artificial Intelligence**. 1955. Disponível em: <<http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth.html>>.
- MENDES, Raquel Dias. "Inteligência Artificial: Sistemas Especialistas no Gerenciamento da Informação." In: **Ciência da Informação**. Print ISSN 0100-1965 Ci. Inf. V.26 n.1 Brasília Jan./Abr. 1997.
- MINSKY, Marvin., "A Framework for Representing Knowledge." MIT-AI Laboratory Memo 306, June, 1974. In: **Cognitive Science**, Collins, Allan and Edward E. Smith (eds.) Morgan-Kaufmann, 1992.
- MITCHELL, Richard J., PIPPENGER, John J. **Fluid power maintenance basics and troubleshooting**. New York: Marcel Dekker, Inc. , 1997.
- MOJENA, Miguel Angel Reyes. **Análise e redução de estruturas em confiabilidade**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 1999, 158p (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica).
- MONCHY, François., **A função da manutenção: formação para a gerência da manutenção industrial**. São Paulo: Durban, 1989.
- MOREIRA, Maria Isabel. "Fale que o PC anota" In: **Revista Info-Exame**, 2001.
- MORET, Bernard M., **The theory of computation**. Inc: Addyson-Wesley Longman, 1998.
- MOSS, Marvin A., **Designing for Minimal Maintenance Expense**. New York, Inc: Marcel Dekker, 1985.
- MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance**. 2nd Edition. New York: Industrial Press Inc., 1997.

- MÜLLER, Isabela Regina Fornari. **Uma análise das aplicabilidades de sistemas especialistas na área de gestão: um estudo de caso.** Florianópolis: Curso de Pós-graduação em Administração da UFSC – Área de concentração: política e gestão institucional, 1998. (Dissertação, Política Empresarial).
- NASCA, Robert A., **Testing fluid power components.** New York: Industrial Press Inc., 1990.
- NEWELL, Allen., SIMON, Herbert A. **Human Problem Solving.** Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. N. J., 1972.
- NOYES, James L. **Artificial intelligence with common lisp: fundamentals of symbolic and numeric processing.** Massachusetts: D.C. Heath and Company, 1992.
- O'CONNOR, P. D. T. **Practical Reliability Engineering.** 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1985.
- RABUSKE, Renato Antônio. **Inteligência artificial** Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1995, 240p.
- RAMOS, Ronaldo Fernandes. **Sistemas Especialistas – uma abordagem baseada em objetos com prototipagem de um selecionador de processos de soldagem** Florianópolis: Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da UFSC, 2000. (Dissertação, Mestrado em Engenharia de Produção).
- REICHE, Hans. **Maintenance minimization for competitive advantage.** USA: Gordon and Breach Science Publishers, 1994, 192 p.
- REIS, Dayr., PATI, Niranjan. “Applications of artificial intelligence to condition-based maintenance.” In: **RAE- Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v.40, n.2, p.102-107, abr/jun. 2000.
- RICH, Elaine., KNIGHT, Kevin., **Inteligência Artificial.** tradução do original Artificial Intelligence, Maria Cláudia Santos Ribeiro Ratto; revisão técnica Alvaro Antunes, Copyright Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1994.
- RUMBAUGH, James., BLAHA, Michael., PREMIERLANI, Willian., EDDY, Frederick., LORENSEN, Willian. **Object-Oriented Modeling and Design.** New Jersey. Inc: Prentice-Hall, 1991.
- SAKURADA, Eduardo Yuji. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falha no desenvolvimento e na avaliação de produtos** Florianópolis: Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, 2001. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica).
- SANNEMANN, Gustavo Daniel Roig. **Uso de um sistema especialista como apoio na estruturação do histórico de dados de equipamentos.** Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da UFSC, 1997. (Dissertação em Engenharia de Produção).

- SCHANK, Roger C. "Where's the AI ? ." **Technical report No. 16 Northwestern University, Institute for the Learning Sciences, 1991.** Disponível em: <http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/04/35/cog00000435-00/Where's_the_AI__Schank.html>. Acesso em: jan. 2001
- SEIXAS, Eduardo de Santana., **Desempenho da manutenção baseada nos critérios de confiabilidade e manutenibilidade, 1997.**
- SILVA, J. Carlos., CHEUNG, Hong Fai. "Computing Support Environment Applying Object-Oriented Methods for Hydraulic System Design." In: **Lancaster International Workshop on Engineering Design Computer Aided Conceptual Design (CACD'97).**
- SILVA, Jonny Carlos da. **Expert system prototype for hydraulic system design focusing on concurrent engineering aspects.** Florianópolis: Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, 1998. 185p. (Tese, Doutorado).
- SILVA, Jonny Carlos da., DAWSON, David. "The Development of an Expert System for Hydraulic Systems focusing on Concurrent Engineering Aspects." In: **Proc. ICED' 97, Tampere, 1997, Vol1: 271-276.**
- SMITH, Anthony M., **Reliability-centered maintenance.** USA: McGraw-Hill, Inc. , 1993.
- SMITH, Reid G., FARQUHAR, Adam. "The Road Ahead Knowledge Management." In: **AI Magazine, 2000 Winter, American Association for Artificial Intelligence – pg 17-40.**
- TESDAHL, Steven A., TOMLINGSON, Paul D., **Breakthrough maintenance strategy for the 21 st century.** Disponível em: <<http://www.sprucenet.com/pdtmtc>>., 1999.
- TURING, Alan. **Computing Machinery and Intelligence.** 1950, Disponível em: <<http://cogprints.soton.ac.uk/documents/disk0/00/00/04/99/cog00000499-00/turing.html>>. Acesso em set.2000.
- TURING, Alan. **Who invented the computer? Alan Turing's Claim.** Disponível em: <<http://www.turing.org.uk/turing/scrapbook/computer.html>>. Acesso em out.2000.
- TUTHILL, G. Steven. **Knowledge engineering: concepts and practices for Knowledge-based systems.** Blue Ridge Summit Tab. Books, 1990, 372p.
- ULLMAN, David G. "The importance of Drawing in the Mechanical Design Process." In: **Computer & Graphics, vol. 14, Nº 2, pp. 263-274, 1990.**
- VILLEMEUR, Alain., CARTIER, Anne., LARTISIEN, Marie-Christie. **Reliability, availability, maintainability and safety assessment: methods and techniques.** Chichester: John Wiley & Sons, 1991, v.1, 363p.
- VOLLERTT, João Rosaldo. **Confiabilidade e falhas de campo: um estudo de caso para melhoria da confiabilidade de um produto e do reparo, através de um procedimento sistemático de coleta de dados.** Florianópolis: Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, 1996. (Dissertação, Mestrado em Engenharia de Produção).

- WATERMAN, Donald A. **A guide to expert systems**. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1986, 419 pp.
- WYLIE, Rob., ORCHARD, Robert., HALASZ, Micheal., DUBÉ, François. "IDS: Improving Aircraft Fleet Maintenance, Innovative Applications of Artificial Intelligence." In: **IAAI-97**, July 27-31, 1997, Providence, Rhode Island.
- XAVIER, Júlio Nascif. "Manutenção classe mundial." In: **Congresso Brasileiro de Manutenção**, Salvador, set. 1998.
- YOURDON, E., COAD, P., **Projeto baseado em objetos**. Editora Campos, Série Yourdon Press, 1992.
- ZUCHI, Ivanete. **O desenvolvimento de um protótipo de sistema especialista baseado em técnicas de RPG para o ensino de matemática** Florianópolis: Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da UFSC, 2000. (Dissertação, Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas).

Anexo 2 – Exemplos de árvores de falhas desenvolvidas durante o projeto SEMaN



Anexo 3 – Resumo da pesquisa sobre normas relativas a *software*

NORMA	BREVE EXPLANAÇÃO
ISO 9126	Apresenta características de qualidade para software.
NBR 13596	Pode ser considerada a versão brasileira da ISO 9126.
ISO 14598	Guias para a avaliação de produtos de software, baseados na norma ISO 9126.
ISO 12119	Apresenta características de qualidade para software comerciais (software de prateleira, vendido com um produto embalado).
IEEE P1061	Standard for Software Quality Metrics Methodology (produto de software)
ISO 12207	Norma que aborda a qualidade em processo de desenvolvimento de software.
NBR ISO 9001	Apresenta modelo para garantia de qualidade em Projeto, Desenvolvimento, Instalação e Assistência Técnica (processo de Sistemas de qualidade).
NBR ISO 9000-3	Gestão de qualidade e garantia de qualidade. Aplicação da norma ISO 9000 para o processo de desenvolvimento de software.
NBR ISO 10011	Auditoria de Sistemas de Qualidade (processo)
CMM (Capability Maturity Model)	É o modelo da SEI (Instituto de Engenharia de Software do Departamento de Defesa dos EUA) para avaliação da qualidade do processo de desenvolvimento de software. Não é norma ISO.
SPICE ISO 15504	Projeto da ISO/IEC para avaliação do processo de desenvolvimento de software.

Anexo 4 - Questionário utilizado para avaliação do protótipo

Considerações Iniciais

O objetivo central deste estudo é demonstrar a viabilidade do uso da técnica de sistemas especialistas como ferramenta de apoio na área naval.

Devido a sua importância e em função de características específicas, escolheu-se a aplicação de diagnóstico de falhas na área de manutenção de sistemas hidráulicos navais.

Em função do modelo de desenvolvimento adotado e do conhecimento não estar completamente estruturado, procurou-se apresentar inicialmente um protótipo computacional que diagnosticasse um grupo restrito de problemas de um típico sistema hidráulico de governo de navio e em alguns de seus principais componentes.

Este modelo simplificado gera apenas as facilidades necessárias à demonstração da potencialidade da ferramenta no contexto das áreas de manutenção naval e de Inteligência Artificial.

Parâmetros considerados

Em se tratando de um sistema especialista, o diagnóstico é alcançado através de interação com o usuário, portanto é necessário que se tenha informações operacionais do sistema no momento considerado. Esta informação pode ser obtida através dos parâmetros técnicos de configuração do sistema.

Procedimento de Avaliação

Para realizar a avaliação, o usuário deve apresentar um problema e responder as perguntas que lhe são feitas pelo sistema. Podem e devem ser exploradas comparações com possibilidades teóricas conhecidas.

O sistema deve ser avaliado observando os seguintes requisitos principais:

a) Consistência:

Dados os parâmetros de entrada, o sistema fornece saídas coerentes, ou seja, não há informações que possam ser consideradas inconsistentes nas respostas do sistema.

b) Repetitividade:

Inserindo no sistema os mesmos parâmetros repetidas vezes, o sistema fornece sempre a mesma resposta.

c) Panes:

O sistema não apresenta problemas inesperados, tais como travamentos repentinos. Erros de instalação não serão considerados panes, mas podem ser citadas no campo previsto para observações finais.

d) Clareza de raciocínio

Se as perguntas formuladas e as instruções apresentadas são fáceis de entender e adequadas à resolução do problema apresentado.

Relatório de avaliação

Para que os resultados possam ser devidamente analisados e futuros melhoramentos possam ser implementados, solicita-se fazer um breve relatório a respeito da avaliação. O relatório está dividido em três partes e é apresentado a seguir:

PARTE 1

- 1) Na sua opinião, o sistema é consistente ? Por que ?

- 2) Na sua opinião, existe repetitividade nas respostas ?

- 3) Ocorreram panes durante alguma sessão ? Quando ?

- 4) Na sua opinião, o sistema é claro nas perguntas e instruções ? Por que ?

PARTE 2

Nesta segunda parte do relatório, pede-se pontuar os itens da Tabela 2 segundo os critérios abaixo:

OPINIÃO	Bom	Regular	Ruim
NOTA	3	2	1

Tabela 2

ITEM A SER AVALIADO	NOTA
Precisão das respostas geradas	
Abordagem do problema	
Fluxo de informações	

Obs: Para cada item julgado ruim, especifique por favor o motivo da nota e o que na sua opinião, poderia ser feito para corrigir o problema.

PARTE 3

Este espaço é destinado às observações finais julgadas pertinentes pelo avaliador do sistema.

MUITO OBRIGADO POR TESTAR O SISTEMA !!!

Anexo 5 – Respostas das Partes 2 e 3 do Questionário de Avaliação

Avaliador Márcio Castelani (1ª Avaliação):

PARTE 2:

Nesta segunda parte do relatório, pede-se pontuar os itens da Tabela 2 segundo os critérios abaixo:

OPINIÃO	Bom	Regular	Ruim
NOTA	3	2	1

Tabela 2

ITEM A SER AVALIADO	NOTA
Precisão das respostas geradas	2
Abordagem do problema	3
Fluxo de informações	3

Obs: Para cada item julgado ruim, especifique por favor o motivo da nota e o que na sua opinião, poderia ser feito para corrigir o problema.

PARTE 3: (Este espaço é destinado às observações finais julgadas pertinentes pelo avaliador do sistema.)

Em geral o sistema está bom e já apresenta uma base de conhecimento razoavelmente desenvolvida. Das questões que o sistema ainda não resolve, algumas parecem poderem ser resolvidas de maneira relativamente simples, sem necessidade de uma grande expansão da base de conhecimento.

Na minha opinião, as questões iniciais poderiam ser suprimidas, pois as mesmas tornam-se inconvenientes quando se usa o sistema repetidamente. Além disso acho que a abordagem do problema é boa e ilustra a potencialidade do mesmo.

Avaliador Márcio Castelani (2ª Avaliação):

PARTE 3: (Este espaço é destinado às observações finais julgadas pertinentes pelo avaliador do sistema.)

Através da avaliação da versão atual do sistema pode-se perceber uma significativa melhora em relação à versão testada anteriormente. Alguns pontos merecem ser destacados em relação a esta melhora:

- A capacidade de fornecer explicações para os diagnósticos realizados é, na opinião do avaliador, o incremento mais significativo desta versão, pois deixam o usuário mais seguro em relação aos resultados e permitem um maior entendimento do sistema físico.

- A base de conhecimento está nitidamente mais completa, permitindo ao sistema resolver problemas complexos que não eram abordados pela versão anterior. Além disto, na versão anterior detectou-se com relativa facilidade algumas inconsistências nas saídas do sistema para determinadas combinações de parâmetros de entrada, o que não ocorreu nos testes presentes, sugerindo um aumento da flexibilidade e robustez do sistema.

- A ilustração do circuito exerce um papel fundamental na compreensão do sistema mecânico sendo analisado, e os links de componentes específicos enriquecem ainda mais esta ferramenta.

Não há críticas severas ao sistema, tendo-se em vista o fato de que a versão apresentada não visa uma aplicação comercial imediata. Sua concepção atual serve muito bem aos propósitos a que se destina. Este sistema, além de evidenciar o domínio da técnica de Sistemas Especialistas por parte do Engenheiro desenvolvedor, ilustra claramente a potencialidade de uma ferramenta desta natureza aplicada ao problema em questão.

Avaliador Paulo do Carmo (1ª Avaliação):

PARTE 2:

Nesta segunda parte do relatório, pede-se pontuar os itens da Tabela 2 segundo os critérios abaixo:

OPINIÃO	Bom	Regular	Ruim
NOTA	3	2	1

Tabela 2

ITEM A SER AVALIADO	NOTA
Precisão das respostas geradas	2
Abordagem do problema	3
Fluxo de informações	2

Obs: Para cada item julgado ruim, especifique por favor o motivo da nota e o que na sua opinião, poderia ser feito para corrigir o problema.

PARTE 3 (Este espaço é destinado às observações finais julgadas pertinentes pelo avaliador do sistema.)

Tive problemas na primeira instalação do protótipo. Inadvertidamente coloquei o sistema em um diretório que não o desejado e houveram erros. Sugiro especificar as instruções de uma forma mais detalhada.

Avaliador Fernando Furst (2ª Avaliação):

PARTE 3: (Este espaço é destinado às observações finais julgadas pertinentes pelo avaliador do sistema.)

O protótipo apresenta uma considerável mudança na sua apresentação em relação à primeira versão. Todas as modificações realizadas representaram uma melhora expressiva na compreensão do circuito hidráulico e do próprio sistema de manutenção. Com a implementação de uma folha de rosto denominada “Tela Inicial” contendo uma breve explicação do que é o SEMaN e portas específicas como princípio de funcionamento, circuito hidráulico e lista de parâmetros, proporcionou o uso fácil do protótipo por até mesmo quem não conhece o circuito.

Além da apresentação, o protótipo incluiu os problemas de falhas do sistema que na versão anterior ainda não havia sido desenvolvido. Percebe-se que agora o programa percorre toda uma linha de raciocínio apresentando coerência na formulação das perguntas o que proporciona informações consistentes nas respostas do sistema. De uma forma geral o protótipo manteve-se na linha anteriormente apresentada de relevante consistência, repetitividade e clareza de raciocínio. Também como no anterior o presente protótipo não apresentou qualquer pane como travamentos repentinos ou erros de instalação.

Outro ponto positivo da segunda versão é a apresentação da explicação de como o sistema chegou àquela resposta o que no meu ver deu maior segurança para quem vai executar a tarefa. Aliado a esta vantagem o executante ainda tem a oportunidade de receber um relatório dos parâmetros de entrada onde ele poderá comparar com os parâmetros do sistema.

Talvez como uma única sugestão, fosse a de incluir nos hiper links dos componentes os desenhos em cortes do próprio componente como apresentado para a bomba. Para uma versão futura, poderá ser incluída até mesmo desenhos de vistas explodidas com respectivas listas de peças, códigos para aquisição, etc.

Avaliador Eduardo Cramer (2ª Avaliação):

PARTE 2

Nesta segunda parte do relatório, pede-se pontuar os itens da Tabela 2 segundo os critérios abaixo:

OPINIÃO	Bom	Regular	Ruim
NOTA	3	2	1

Tabela 2

ITEM A SER AVALIADO	NOTA
Precisão das respostas geradas	3
Abordagem do problema	2
Fluxo de informações	3

Obs: Para cada item julgado ruim, especifique por favor o motivo da nota e o que na sua opinião, poderia ser feito para corrigir o problema.

PARTE 3: (Este espaço é destinado às observações finais julgadas pertinentes pelo avaliador do sistema.)

O sistema poderá facilitar e agilizar o usuário de equipamentos para identificar os componentes que estão falhando, sem que este necessite de um grande conhecimento hidráulico.

Ao longo dos anos trabalhando em sistemas hidráulicos, pude observar que 80% dos problemas em máquinas do leme decorrem de problemas simples que poderiam ser identificados e sanados por sistemas especializados.

Ressalto que em navios, normalmente:

- a tripulação não tem prática em reparos de circuitos hidráulicos, dispondo de poucos recursos em alto mar.
- a máquina do leme é um equipamento intimamente ligado a segurança da embarcação, não podendo falhar ou permanecer inoperante por muito tempo.

Anexo 6 – E-mail solicitando auxílio técnico

>-----Mensagem original-----

>De:

>Para: fluitec@domain.com.br <fluitec@domain.com.br>

>Data: Terça-feira, 27 de Fevereiro de 2001 20:05

>Assunto: Máquina do leme número 01

>

>Caro Eduardo,

>A máquina do leme de número 1 apresenta o mesmo problema, saindo do rumo determinado, quando esta no sistema automático; esse problema é intermitente. Sabemos que o problema não esta na bomba, pois é nova. Em Recife, dia 24/02/2001, todas as válvulas do sistema foram desmontadas e limpas, nada encontrado de anormal. Os problemas vistos nessa máquina são os seguintes:

>01-Aquecimento do óleo hidráulico anormal;

>02-Não apresenta pressão no manômetro do cilindro.

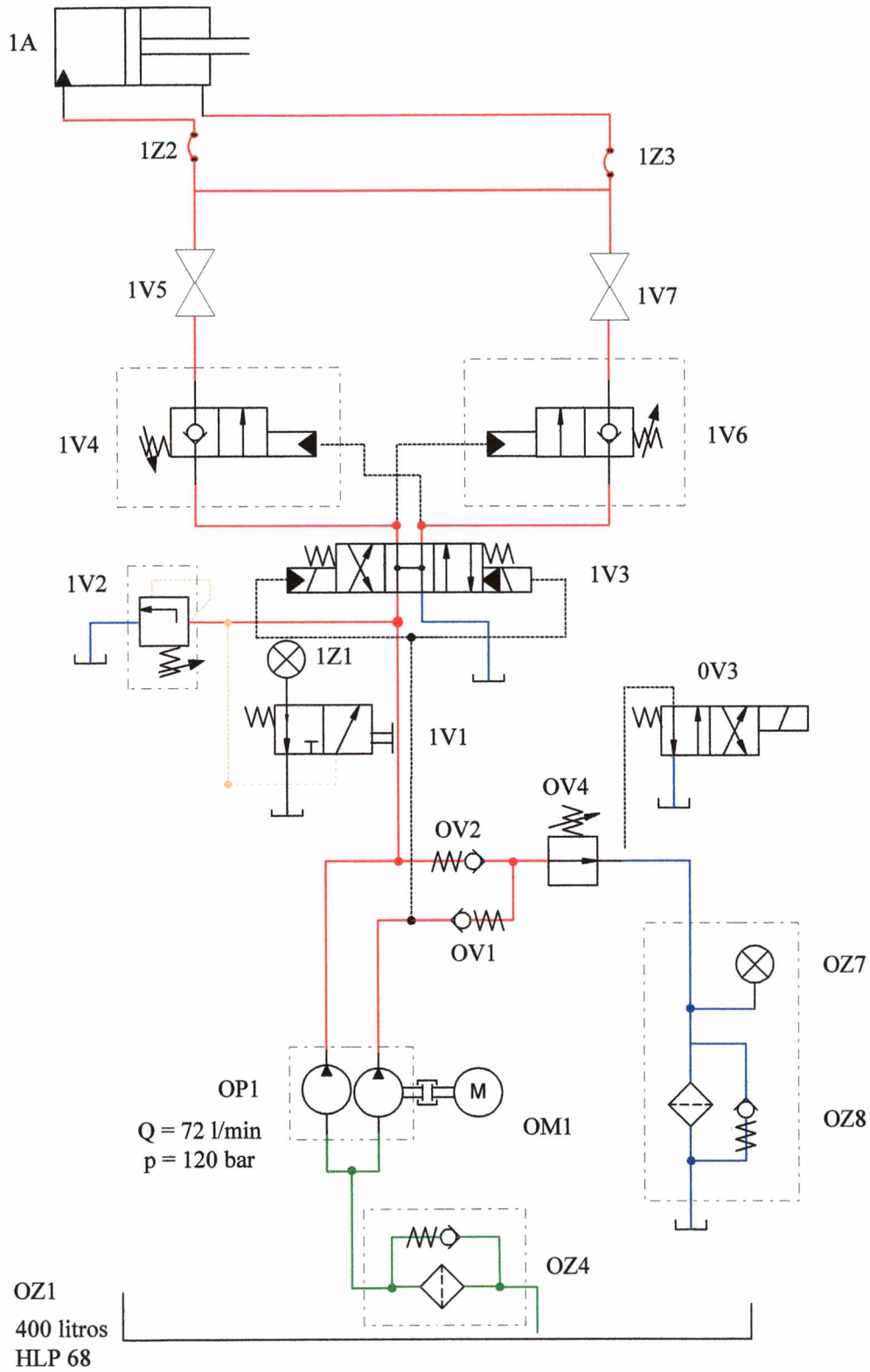
>Suspeitamos que possa haver uma rachadura interna no bloco de válvulas, fazendo com que o óleo by-passe o cilindro ou anéis gastos dos êmbolos.

>Aguardamos alguma resposta em função do explanado acima, seria uma grande ajuda.

>Chegaremos a Manaus, dia 02/03/2001, ligaremos para um contato melhor.

>SDS

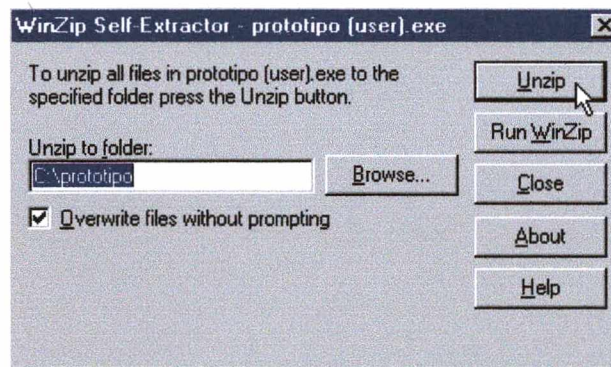
Anexo 7 – Diagrama hidráulico do sistema de governo representado segundo a norma ISO 1219-1



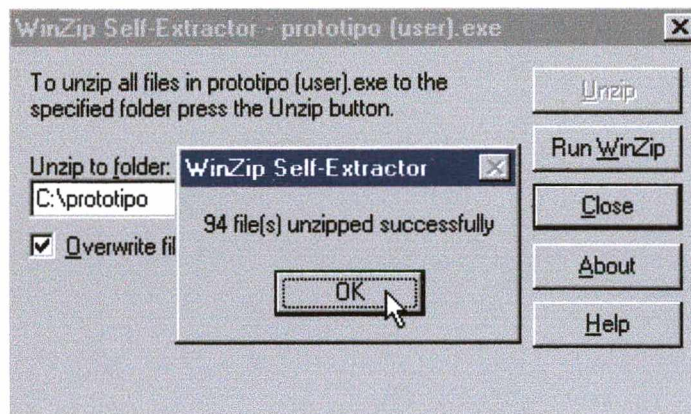
Anexo 8 – Instruções de funcionamento e exemplo de aplicação do protótipo SEMaN

Para utilizar o SEMaN, o usuário deve ter os arquivos **CLIPSwin10.exe** - um ambiente **SHELL** desenvolvido pela **NASA** e que contém as facilidades necessárias ao desenvolvimento de um SE. Como todo ambiente **SHELL**, o **CLIPS** não possui conhecimento de qualquer área específica. Sendo assim, o usuário deve obter também o arquivo **manut.bin**. Este arquivo contém todas as figuras e o sistema, que é o protótipo propriamente dito. As instruções a seguir demonstram como proceder:

- 1) Com um duplo clique no respectivo ícone, descompactar o arquivo protótipo (user).exe que contém todos os arquivos mencionados acima;
- 2) Em seguida aparecerá uma tela indicando o **path** C:/prototipo. Basta clicar no botão Unzip;

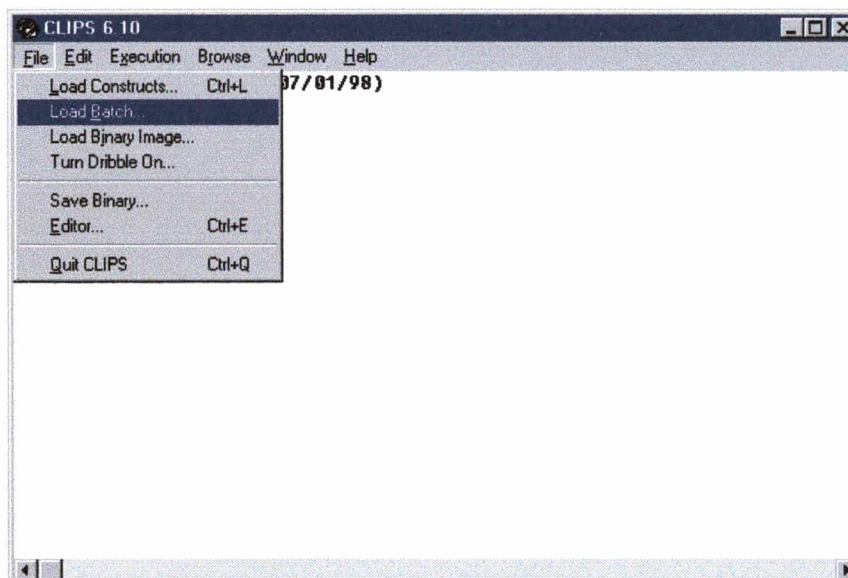


- 3) Depois que todos os arquivos forem descompactados com sucesso, clique em OK e por último no botão Close, conforme apresentado na tela seguinte;

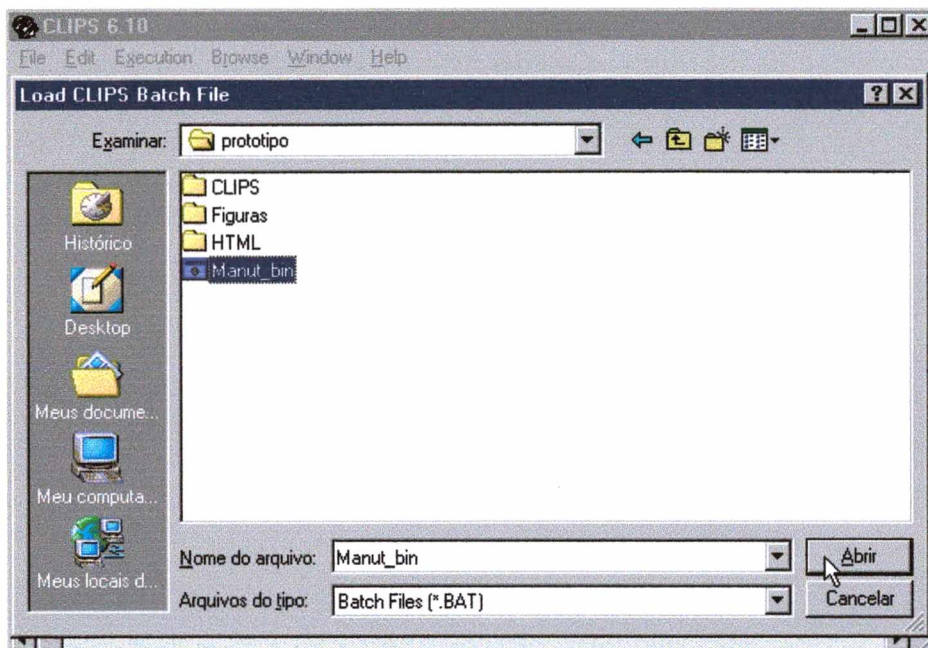


4) Com o auxílio do Windows Explorer, carregar o programa clipswin.exe com um duplo clique no respectivo ícone. O *path* correto para a localização deste programa é C:/prototipo/Clips;

5) Dentro do ambiente Clips, na barra de menu principal escolha a opção File. Depois escolha a opção Load Batch, conforme indicado na tela abaixo;



6) Na caixa de diálogo Examinar escolha o programa que está no *path* C:/prototipo/Manut_bin e clique no botão Abrir .



6) Depois é só seguir as instruções que serão apresentadas na tela. O ponto de interrogação no ambiente Clips, indica que o sistema aguarda uma resposta. Basta digitar a resposta conforme solicitação do programa e pressionar a tecla Enter. A primeira tela está apresentada a seguir e contém explicações sobre como proceder, caso o usuário queira mudar o diretório no qual foi inicialmente instalado o sistema. Neste exemplo, foi feita opção de manter o sistema no diretório inicial.


```

CLIPS 6.10
File Edit Execution Browse Window Help
*****
BEM VINDO AO SEMAN, SISTEMA ESPECIALISTA QUE ESTÁ SENDO
DESENVOLVIDO PARA DAR APOIO AO DIAGNÓSTICO DE FALHAS
DE UM TÍPICO SISTEMA HIDRÁULICO NAVAL
*****
Antes do início da sessão, você pode modificar o diretório,
no qual o sistema está localizado. Isto pode ser feito movendo
manualmente a pasta (prototipo) para o diretório desejado com
o auxílio do Windows Explorer.

Uma vez feita a modificação, o usuário deve informar a nova
localização do sistema, pois caso contrário o programa não
será capaz de encontrar os arquivos corretos, e não funcionará
adequadamente.
Caso opte por fazer a modificação, a sintaxe apresentada abaixo
deverá ser mantida.
O diretório atual é: C:/prototipo
*****
Para entrar com o comando corretamente no ambiente CLIPS,
deve ser digitado o número correspondente à escolha e depois
a tecla ENTER

OPÇÕES:
(1) Mudar o diretório
(2) Manter o diretório
(3) Sair do programa

Escolha a opção: (1) (2) or (3) 2
  
```

Depois de concluída esta etapa, aparecem explicações sobre como é feita a integração com os arquivos HTML nesta fase de desenvolvimento, conforme apresentado nas telas a seguir.

```

CLIPS 6.10
File Edit Execution Browse Window Help

POR FAVOR ESPERE, O SISTEMA ESTÁ CARREGANDO A BASE DE FATOS ...

*****

ESTE SISTEMA OPERA EM DOIS AMBIENTES E É COMPATÍVEL COM A
INTERNET (w.w.w.). A INFORMAÇÃO PRODUZIDA E PROCESSADA PELO
SISTEMA É APRESENTADA EM ARQUIVOS HTML.

ENTRETANTO NO ATUAL ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO, É NECESSARIO
ABRIR O ARQUIVO HTML QUE ESTÁ SENDO INDICADO NO AMBIENTE CLIPS
MANUALMENTE COM O AUXÍLIO DO WINDOWS EXPLORER PARA QUE ESTE
POSSA SER VISUALIZADO. O RETORNO AO AMBIENTE CLIPS PODE SER
FEITO ALTERNANDO AS JANELAS.

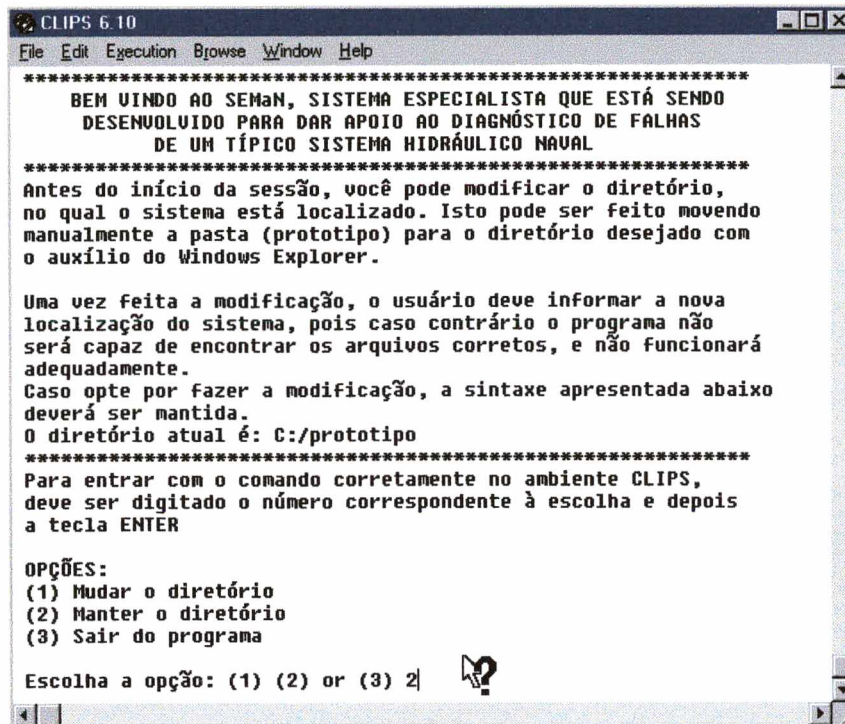
PARA OBTER O ENTENDIMENTO GLOBAL DO SISTEMA, ANTES DE COMEÇAR
A SESSÃO, ABRA O ARQUIVO
C:/prototipo /HTML/TelaInicial.htm

APÓS O TÉRMINO DA SESSÃO, A PÁGINA PARÂMETROS TÉCNICOS DO
SISTEMA É ATUALIZADA COM UM RESUMO DA CONSULTA.

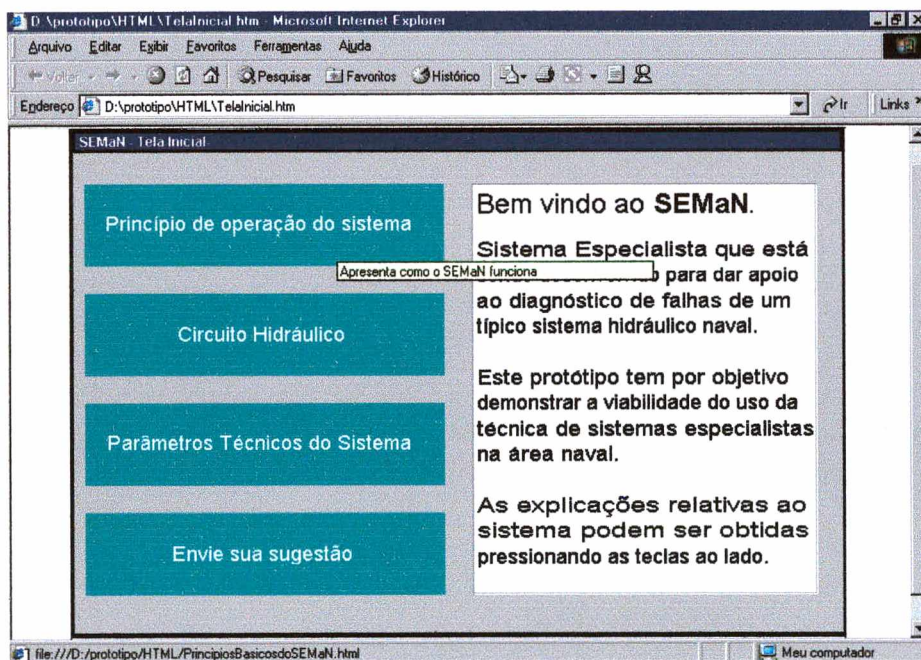
*****

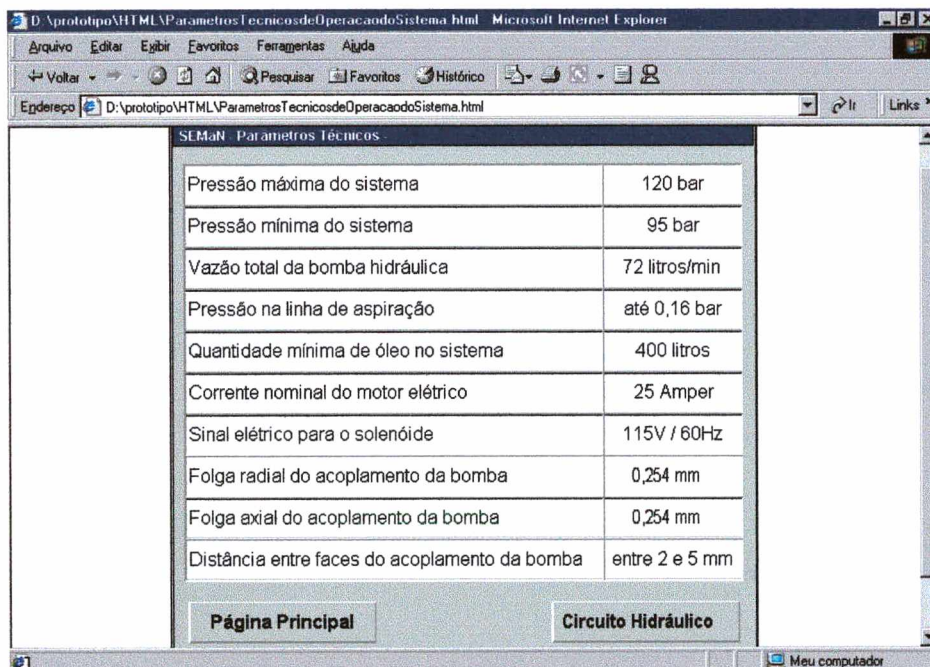
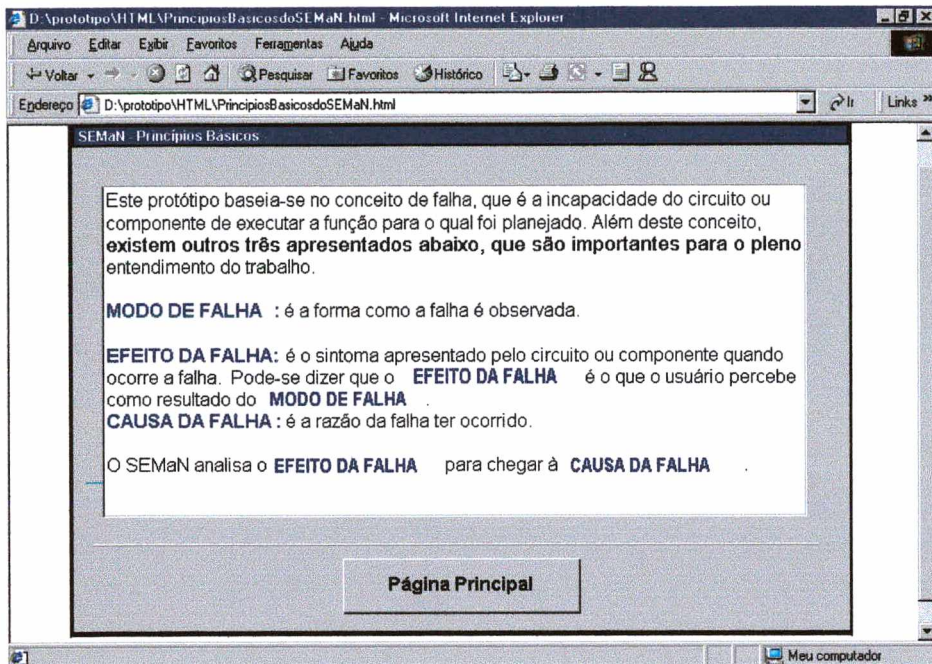
APÓS ABRIR O ARQUIVO,

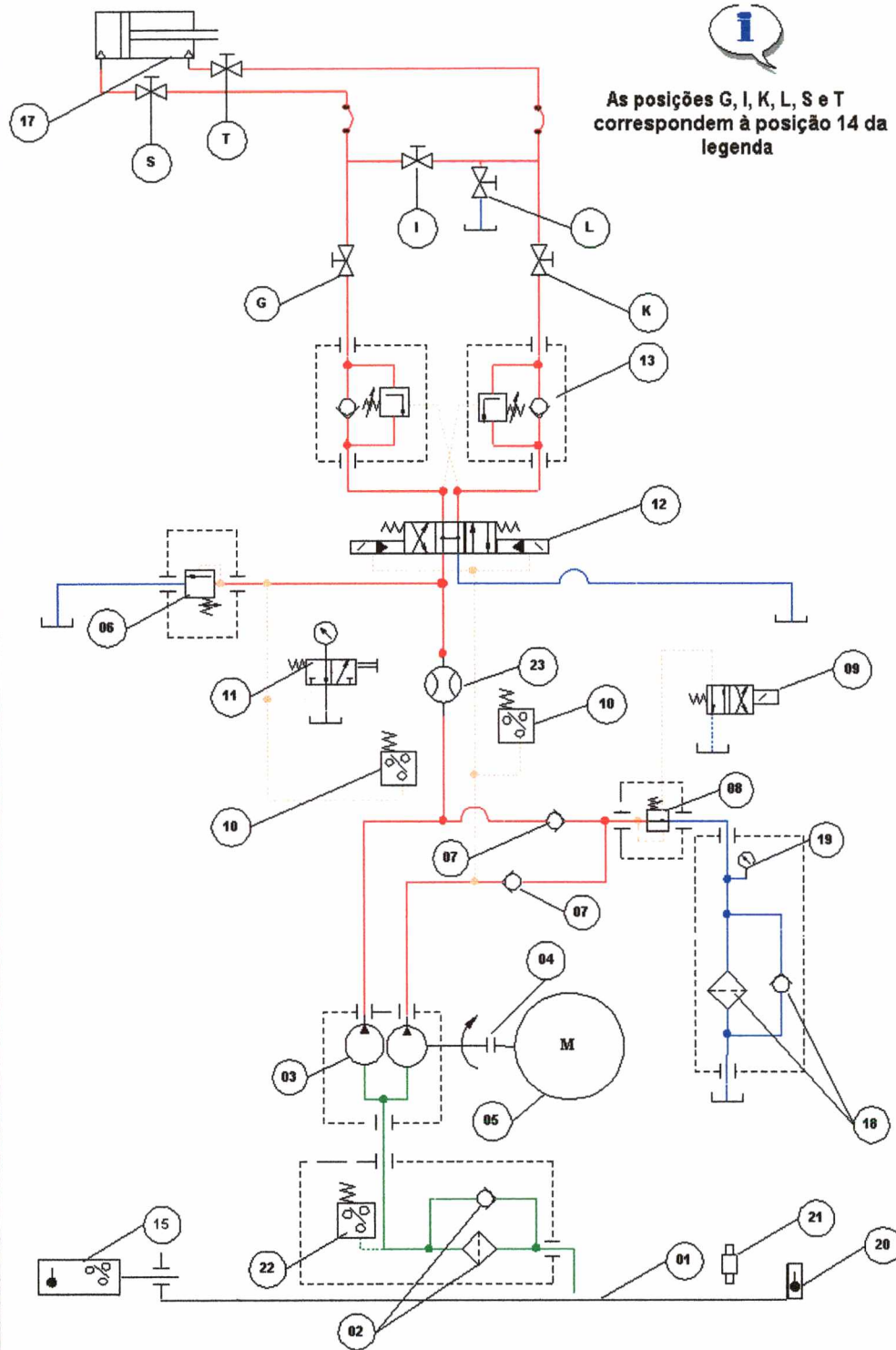
DIGITE 'c' PARA CONTINUAR OU 's' PARA SAIR . c|
  
```



A seguir são mostradas as *homepage* que podem facilmente ser acessadas via *browser* e que irão permitir ao usuário um completo entendimento do sistema hidráulico que está sendo analisado.







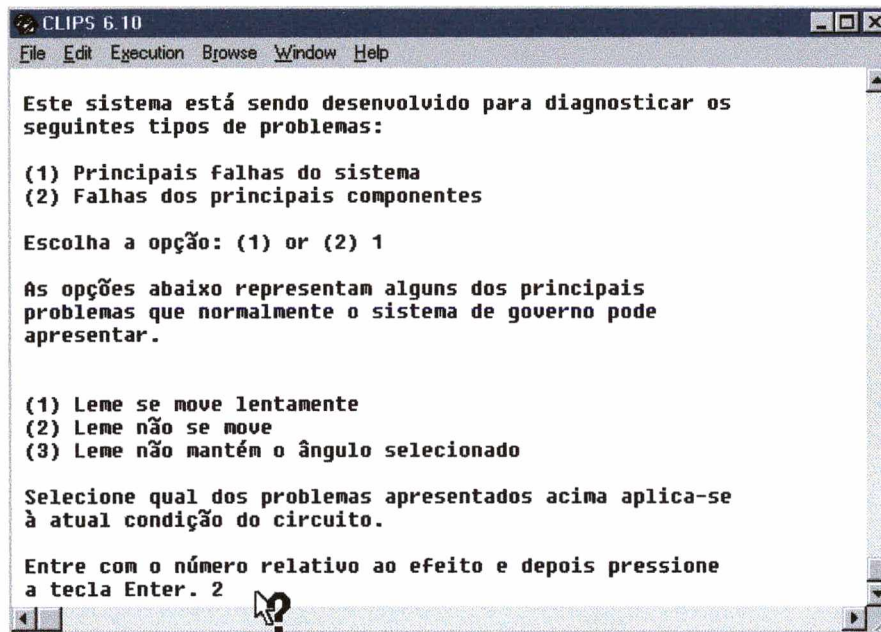
[Página Principal](#)

[Explicação Geral](#)

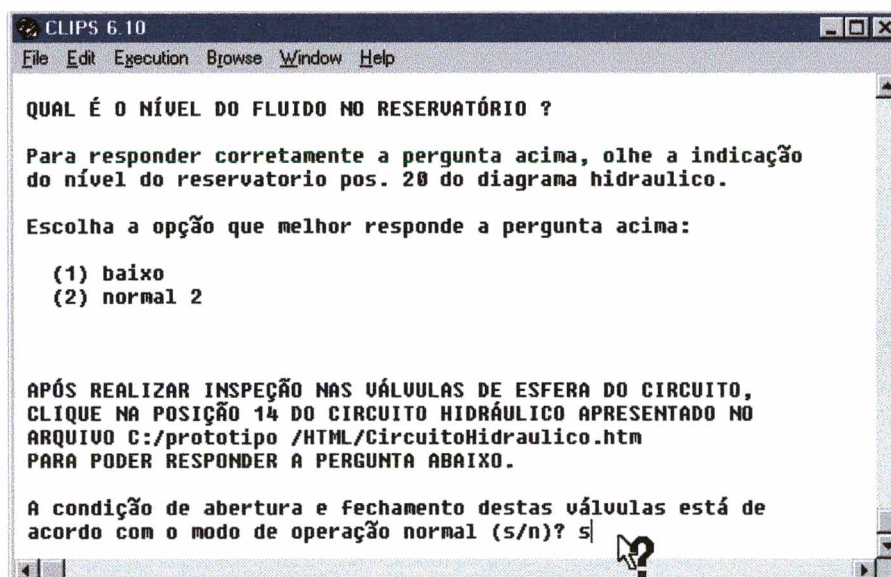
[Princípio de funcionamento do sistema](#)

[Legenda](#)

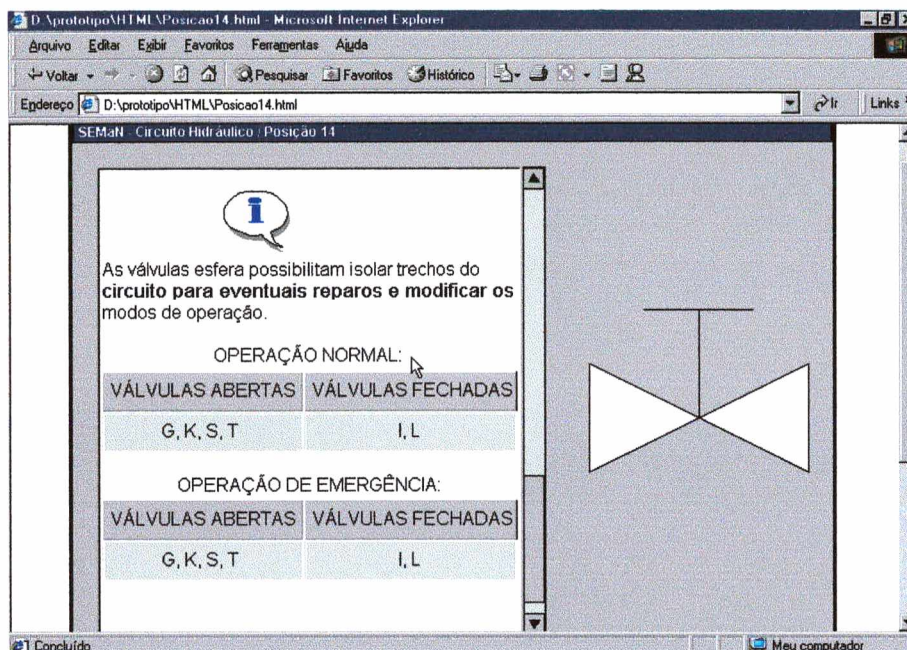
Findas estas etapas, inicia-se a sessão de consulta propriamente dita, onde são apresentados ao usuário os problemas que estão sendo abordados nesta fase do projeto. No presente exemplo, o problema apresentado é a não movimentação do leme do navio.



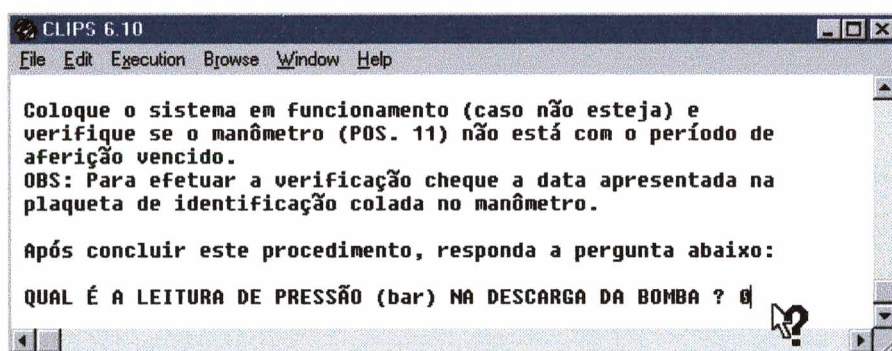
A partir deste ponto, o sistema começa a funcionar segundo já apresentado em 4.4.1.1. As telas apresentadas a seguir demonstram como é esta abordagem em uma situação prática.

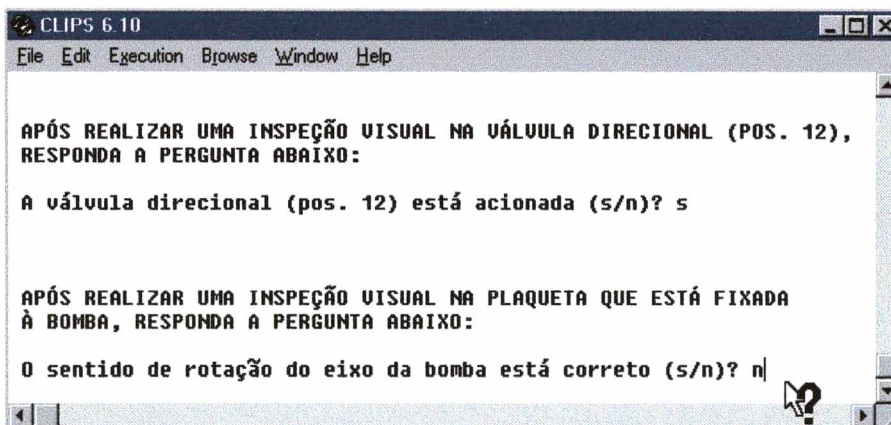
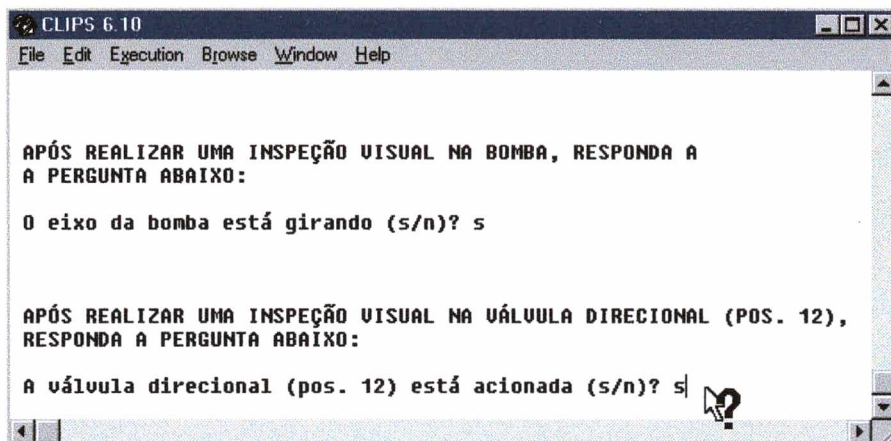
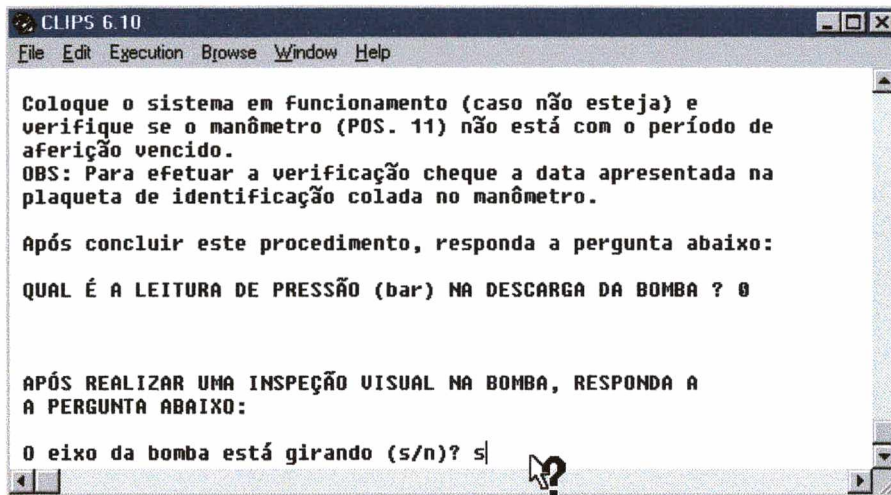


A homepage abaixo serve de base para a resposta solicitada na tela anterior.

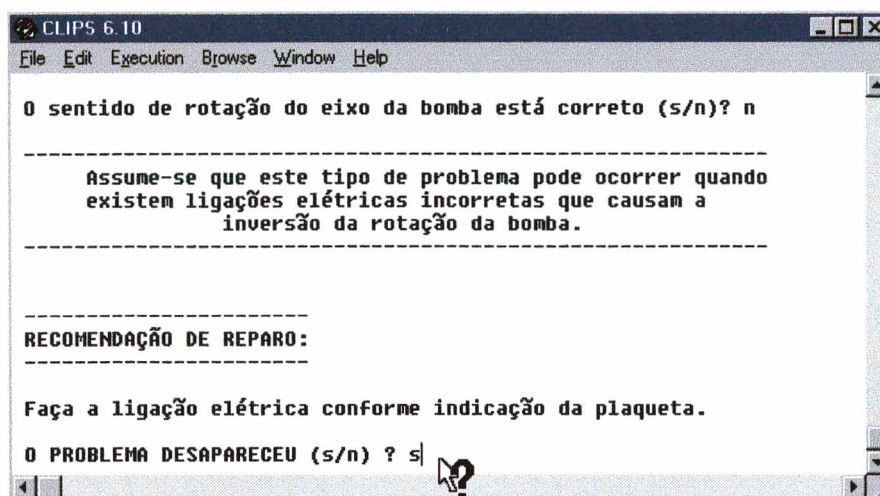


A medida que o usuário responde, novas perguntas são feitas. O objetivo é encontrar a causa do problema apresentado pelo usuário o mais rápido e da forma mais precisa possível.





Quando o protótipo SEMaN chega a alguma conclusão, esta é apresentada segundo demonstrado na tela abaixo.



É então exibida uma homepage com o resumo técnico da consulta, incluído a explicação dos motivos que levaram o SEMaN a chegar à conclusão.

RESUMO TÉCNICO DA CONSULTA

- **DIAGNÓSTICO DA FALHA = Rotacao invertida do eixo da bomba.**
- **RECOMENDAÇÃO DE REPARO = Refazer a ligacao eletrica conforme indicacao da plaqueta.**
- **EXPLICAÇÃO DO SEMaN = P2 eh-ou-estah nula E eixo-da-bomba eh-ou-estah girando E acionamento-da-vv-direcional eh-ou-estah correto E sentido-de-rotacao eh-ou-estah incorreto entao rotacao-incorreta-do-eixo pode ser a-causa para o problema apresentado inicialmente .**