

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

***METODOLOGIA PARA INCORPORAR CONHECIMENTO INTENSIVO ÀS
TAREFAS DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE APLICADA
EM ATIVOS DE SISTEMAS ELÉTRICOS***

JOÃO LUIZ ALKAIM

FLORIANÓPOLIS
2003

JOÃO LUIZ ALKAIM

***METODOLOGIA PARA INCORPORAR CONHECIMENTO INTENSIVO ÀS
TAREFAS DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE APLICADA
EM ATIVOS DE SISTEMAS ELÉTRICOS***

Tese de Doutorado submetida à
Universidade Federal de Santa
Catarina para obtenção do Título
de Doutor em Engenharia de
Produção.

Florianópolis, maio de 2003

JOÃO LUIZ ALKAIM

***METODOLOGIA PARA INCORPORAR CONHECIMENTO INTENSIVO ÀS
TAREFAS DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE APLICADA
EM ATIVOS DE SISTEMAS ELÉTRICOS***

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de Doutor em Engenharia, especialidade Engenharia de Produção, aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

Banca Examinadora:

Prof. Roberto C. S. Pacheco, Dr.
Orientador

Prof. João Bosco da Mota Alves, Dr.

Prof. Aran Bey Tcholakian Morales, Dr.

Profa. Maria Inés Castiñeira, Dra.

Prof. Marco Antônio Barbosa Cândido, Dr.

Dedicatória.

De: João Luiz Alkaim

Para: Maria Auxiliadora, minha esposa, companheira e grande incentivadora. Você caminhou comigo a cada momento deste trabalho, sempre me ajudando a vencer este desafio. Muito Obrigado! Dedico a tese a você e aos nossos filhos Cristiano, André e Daniel, como prova de abnegação e superação.

Agradecimentos

Os meus sinceros agradecimentos e todas as pessoas e instituições, cuja ajuda, direta ou indireta, tornou possível a realização deste trabalho.

Ao professor orientador Roberto C.S. Pacheco, Dr. pelo auxílio e orientação na execução deste trabalho.

Aos professores João Bosco da Mota Alves, Dr., Aran B.T. Morales, Dr., Maria Inés Castiñeira, Dra. e Marco Antônio B. Cândido Dr. pelas contribuições e participação na banca examinadora.

À Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, aos professores do Curso de Pós-graduação do Curso de Engenharia de Produção e Sistemas – EPS, pelo apoio, incentivo e colaboração durante a fase do pós-graduação.

À Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, aos professores do Curso de Ciência da Computação e Sistemas de Informação pelo apoio e incentivo.

À Andréia Agostini e Paulo Barral de Hollanda Vieira pelo trabalho de digitação e diagramação da tese.

À minha esposa Maria Auxiliadora e aos meus filhos Cristiano, André e Daniel pela compreensão estímulo e paciência que foram fundamentais à elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE SIGLAS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	16
1.1 CONTEXTO DA TESE	16
1.2 TEMA DA TESE	20
1.3 JUSTIFICATIVA	20
1.4 OBJETIVOS	23
1.4.1 Objetivo Geral	23
1.4.2 Objetivos Específicos	24
1.5 METODOLOGIA DE TRABALHO	24
1.6 MOTIVAÇÃO	26
1.7 DELIMITAÇÕES	26
1.8 CONTEXTUALIZAÇÃO DA TESE NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	27
CAPÍTULO 2 – A MANUTENÇÃO DE SISTEMAS	31
2.1 INTRODUÇÃO	31
2.2 A MANUTENÇÃO DE SISTEMAS – SUAS DEFINIÇÕES	31
2.3 A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO	35
2.4 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO	38
2.4.1 Síntese Evolutiva da Manutenção	41
2.4.2 Principais fatos das Gerações	41
2.5 DOS PRIMÓRDIOS DA MANUTENÇÃO DE 2ª GERAÇÃO ÀS GRANDES IDÉIAS DA 3ª GERAÇÃO	43
2.5.1 A Manutenção e a Confiabilidade	45
2.6 MANUTENÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS	46
2.6.1 Cenário Brasileiro	47
2.6.2 Tendências da Manutenção de Sistemas a Nível Mundial	52
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
CAPÍTULO 3 - A MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (RCM) ..	60
3.1 INTRODUÇÃO	60
3.2 DO PRELÚDIO À EVOLUÇÃO DOS DIAS ATUAIS	60
3.2.1 A RCM e o EPRI	66
3.3 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA USANDO MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE	67
3.3.1 Programa de Manutenção Preventiva Tradicional – Sua Constituição ..	67
3.3.2 Manutenção Centrada na Confiabilidade e seus Atributos	69

3.4 A METODOLOGIA RCM E A NORMA SAE-JA1011	70
3.4.1 Critérios Mínimos de um Processo RCM	71
3.5 NORMA SAE-JÁ 1012 – DIRETRIZES PARA DEDSENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA USADA COMO REFERÊNCIA USADA COMO REFERÊNCIA PARA INCORPORAÇÃO DO CONHECIMENTO INTENSIVO	74
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
	78
CAPÍTULO 4 – A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO NO CONTEXTO DA MANUTENÇÃO	78
4.1 INTRODUÇÃO	78
4.2 A INFORMATIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO	83
4.2.1 A Inteligência Artificial no Contexto da Manutenção	83
4.2.1.1 O que é IA ?	87
4.2.1.2 A IA na Manutenção e Sistemas de Potência	90
4.3 A ENGENHARIA DO CONHECIMENTO COMO DISCIPLINA EMERGENTE DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS	90
4.4 ENGENHARIA DO CONHECIMENTO E A RCM – CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
CAPÍTULO 5 – A ENGENHARIA DO CONHECIMENTO E O SISTEMA COMMONKADS	106
5.1 INTRODUÇÃO	106
5.2 ENGENHARIA DO CONHECIMENTO : PRINCÍPIOS E MÉTODOS	108
5.2.1 A hipótese do Nível de Conhecimento	110
5.2.2 Nível de Conhecimento & Aquisição de Conhecimento	111
5.2.3 Princípios da Modelagem do Conhecimento	114
5.2.4 O Processo de Modelagem	115
5.2.5 Metodologias de Construção de SBC's	119
5.2.6 Metodologia CommonKADS : Características de Aplicação	121
5.3 O CommonKADS	122
5.3.1 Construção de SBC usando CommonKADS	124
5.3.2 Interação do COMMONKADS com Outras Disciplinas	125
5.3.2.1 A Influência de Outras Disciplinas no Modelo de Tarefa e seu Contexto Organizacional	125
5.3.2.2 A influência de Outras Disciplinas no Modelo de Conhecimento e Tarefas Templates	126
5.3.2.3 As Influências de Outras Disciplinas no Modelo de Comunicação	126
5.3.3 O Modelo de Conhecimento (ou Modelo de Perícia)	126
5.3.3.1 Nível de Domínio	129
5.3.3.2 Nível de Inferência	135
5.3.3.3 Nível de Tarefa	136
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	138
CAPÍTULO 6 – METODOLOGIA PROPOSTA	140
6.1 INTRODUÇÃO	140
6.2 FASES DA METODOLOGIA PROPOSTA	142
6.2.1 Extração do Conhecimento Inerente aos Ativos	142
6.2.2 Explicitação dos Conhecimentos dos Ativos na Forma de Tarefas	145
6.2.3 Modelando o Conhecimento das Tarefas de RCM	148

6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
CAPÍTULO 7 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA	154
7.1 INTRODUÇÃO	154
7.2 EXTRAÇÃO DO CONHECIMENTO INERENTE AOS ATIVOS	155
7.2.1 Formação do Grupo de RCM	155
7.2.1.1 Outros Passos Importantes	156
7.2.2 Obtenção das respostas das 4 principais questões básicas	157
7.2.3 Elaboração da planilha nº1 de RCM	157
7.3 EXPLICITAÇÃO DOS CONHECIMENTOS DOS ATIVOS NA FORMA DE TAREFAS	157
7.3.1 Estruturação do Diagrama de Decisão	157
7.3.2 Obtenção das respostas das 3 últimas questões básicas	158
7.3.3 Elaboração da planilha nº 2 de RCM	158
7.4 MODELAGEM DO CONHECIMENTO DAS TAREFAS DE RCM	158
7.4.1 Identificação do conhecimento contido nas tarefas de RCM	158
7.4.1.1 Atividade de Identificação: exploração das fontes de informação	159
7.4.1.2 Atividade de Identificação: lista potencial dos componentes do modelo	159
7.4.2 Especificação do Conhecimento contido nas tarefas de RCM	160
7.4.2.1 Atividade de Especificação: escolha da tarefa Template	160
7.4.2.2 Atividade de Especificação: construção inicial do esquema do domínio	162
7.4.2.3 Atividade de Especificação: especificação completa do modelo de conhecimento	163
7.4.3 Refinamento do Conhecimento contido nas tarefas de RCM	174
7.4.3.1 Atividade de Refinamento: completar as bases de conhecimento incluindo as instâncias necessárias	174
7.4.3.2 Atividade de Refinamento: validação do modelo de conhecimento	174
7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA	175
CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES	184
8.1 AVALIAÇÃO E RESULTADOS	184
8.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	186
8.3 SUGESTÕES E TRABALHOS FUTUROS	190
8.3.1 Sugestões	190
8.3.2 Trabalhos Futuros	192
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	193
ANEXOS	203
Anexo 1A – Exemplo de Inferência: Inference Cover (linguagem conceitual e representação gráfica)	204
Anexo 1B – Primitivas de Inferência do CommonKADS	206
Anexo 2 – Exemplo de Tarefa: Task car-diagnosis	208
Anexo 3 – Caso Furnas	210
Anexo 4 – Caso SQL / ALADON	216
Anexo 5 – Planilha nº1 de RCM	219
Anexo 6 – Diagrama de Decisão SQL/ALADON	225
Anexo 7 – Planilha nº2 de RCM	228
Anexo 8 – Bases de Conhecimento da Tarefa Diagnosis	231

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Metodologia da Presente Tese	25
Figura 1.2 – Níveis de atuação profissional do engenheiro	28
Figura 2.1 – A relação entre produção e manutenção	34
Figura 2.2 – Crescimento das expectativas da manutenção	39
Figura 2.3 – Mudanças de visão na falha do equipamento	40
Figura 2.4 – Mudanças das técnicas de manutenção	40
Figura 3.1 – Padrões de idade-confiabilidade para equipamentos não estruturais de aeronaves	62
Figura 3.2 – Curva idade X probabilidade de falha	63
Figura 3.3 – Curva banheira	63
Figura 3.4 – Desenvolvendo/Atualizando um programa de Manutenção Preventiva Tradicional	68
Figura 3.5 – Grupo de Revisão de RCM	75
Figura 4.1 – Solucionando o problema humano	93
Figura 4.2 – Convergência de três fatores importantes para criar os sistemas especialistas baseado em regras	94
Figura 4.3 – Sistema especialista de 1ª geração	95
Figura 4.4 – Conhecimento X RCM	97
Figura 4.5 – Modelo de Conhecimento por Níveis	98
Figura 4.6 – Espiral do Conhecimento (Transformação do Conhecimento)	101
Figura 4.7 – Conteúdo do conhecimento criado pelos quatro modos	102
Figura 4.8 – Aplicação da metodologia de gestão do conhecimento à RCM	105
Figura 5.1 – Sumário da Evolução da Engenharia do Conhecimento	108
Figura 5.2 – O nível de conhecimento e o nível simbólico são modelos de comportamento	109
Figura 5.3 – Os diferentes componentes dos modelos de conhecimento	112
Figura 5.4 – Visão esquemática das propostas modernas de Engenharia do Conhecimento	114
Figura 5.5 – Modelo de conhecimento baseado nas noções básicas de Newell ...	116
Figura 5.6 – Uma breve história do CommonKADS	121
Figura 5.7 – Os Modelos do CommonKADS	122
Figura 5.8 – Interação de CommonKADS com outras disciplinas	124
Figura 5.9 – Modelo de Perícia para diagnóstico médico	127
Figura 5.10 – Componentes do Conhecimento do Domínio	130
Figura 5.11 – Conceito do Domínio de Aplicação	131
Figura 5.12a – Aplicação dos Construtos de relação	131
Figura 5.12b – Aplicação dos Construtos de relação	132
Figura 5.13 – Relações de Sub-type entre conceitos do domínio do diagnóstico de carro	133
Figura 5.14 – Base de Conhecimento do Domínio de um carro pelo construto tipo-regra	134
Figura 5.15 – Conhecimento de Inferência	135
Figura 5.16 – Conhecimento da tarefa diagnóstico	136
Figura 5.17 – Hierarquia dos tipos de tarefas do conhecimento intensivo baseado nos tipos de problemas que estão sendo resolvidos	137
Figura 6.1 – Metodologia Proposta	140

Figura 6.2 – O grupo de RCM	143
Figura 6.3 – Diagrama de Decisão RCM	146
Figura 6.4 – Macrovisão da obtenção das tarefas de conhecimento do(s) ativo(s) pelo grupo de RCM	147
Figura 6.5 – Visão geral dos 3 principais estágios na construção do modelo de conhecimento	149
Figura 6.6 – Proposta <i>Middle-in</i> para completar o modelo do conhecimento	151
Figura 7.1 – Estrutura de inferência anotada da tarefa <i>DIAGNOSIS</i>	161
Figura 7.2 – Processo de RCM X Tarefa <i>DIAGNOSIS</i>	162
Figura 7.3 – Típico Esquema do domínio para <i>DIAGNOSIS</i>	162
Figura 7.4 – Diagrama de decomposição da tarefa <i>DIAGNOSIS</i>	164
Figura 7.5 – Especificação da tarefa RCM- <i>DIAGNOSIS</i>	165
Figura 7.6 – Método padrão <i>casual-covering</i> para a tarefa <i>DIAGNOSIS</i>	166
Figura 7.7 – Conceitos e relações utilizados no caso SQL / ALADON	167
Figura 7.8 – Relacionamentos entre conceitos do caso SQL / ALADON	168
Figura 7.9 – Simulação no papel do processo de raciocínio do modelo de conhecimento no domínio do armazenamento do benzeno com cenário típico de falha da função nº1	175
Figura 7.10 – Transformação do Processo de RCM em Tarefa de Conhecimento Intensivo (<i>DIAGNOSIS</i>)	178
Figura 8.1 – Modelo de gestão do conhecimento da EMBRACO	189
Figura 8.2 – Áreas para desenvolvimento de programas	191

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Perfil da Eletrosul	36
Quadro 2.2 – Custo de Manutenção	37
Quadro 2.3 – Evolução da Manutenção	41
Quadro 2.4 – Associações e Fóruns de Manutenção do Brasil e do Exterior	47
Quadro 4.1 – Desenvolvimento dos Computadores	79
Quadro 4.2 – Softwares mais difundidos	82
Quadro 4.3 – Evolução da IA	85
Quadro 4.4 – Alguns eventos importantes na história dos sistemas de conhecimento	92

LISTA DE SIGLAS

- 5S** – Seiri, Seiton, Seiso , Seiketsu, Shitsuke
- SIX SIGMA** – Método para reduzir custos através da melhoria da Qualidade
(eliminação de falhas, defeitos, erros etc...)
- AAAI** – American Association for Artificial Intelligence
- ABRAMAN** – Associação Brasileira de Manutenção
- AI** – Artificial Intelligence
- AIES** – AI in Equipment Maintenance Service and Support
- AKAW** – Australian Knowledge Acquisition Knowledge Workshop
- ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica
- CBM** – Condition Based Maintenance
- CCQ** – Círculo de Controle de Qualidade
- CEPAL** – Comissão Especial para América Latina (ONU)
- CIER** – Comisión de Integración Eléctrica Regional
- CIGRÉ** – Consiel International des Grands Réseaux Électriques
- CIGRÉ-Brasil** – Consiel International des Grands Réseaux Électriques – seção Brasil
- CM** – Condition Monitoring
- CMMS** – Computerized Maintenance Management System
- CommonKADS** – o mesmo que KADS II
- CORDIS** – Community Research & Development Information Service
- DESIRE** – Modelling Framework DESIRE
- DOD** – Department of Defense (Estados Unidos)
- EAM** – Enterprise Asset Management
- EFNMS** – European Federation of National Maintenance Societies
- EKAW** – European Knowledge Acquisition Workshop
- ELARC** – Encontro Regional Latino-Americano da CIGRÉ
- ELETROSUL** – Centrais Elétricas do Sul do BRASIL
- EPRI** – Electrical Power Research Institute (Estados Unidos)
- ESPRIT** – European Strategic Program for Research and Development in Information
Technology
- FIM** – Federação Ibero-Americana de Manutenção
- FMEA** – Failure Mode and Effect Analysis
- FMECA** – Failure Mode Effect and Critical Analysis
- GPS** - General Problem Solver
- HPKB** – High Performance Knowledge Bases

IA – Inteligência Artificial

IAC – Inteligência Artificial Conexionista

IAS – Inteligência Artificial Simbólica

IEEE – Institute of Electrical and Eletronics Engineers

ISAP - Intelligent System Application to Power System

JIPM – Japan Institute of Plant Maintenance

JIT – Just In Time

JKAW – Japanese Knowledge Acquisition Workshop

KADS – Knowledge Analysis and Design System

KADS II – projeto sucessor do KADS

KAW – Knowledge Acquisition Workshop

MAE – Mercado Atacadista de Energia

MBC – Manutenção Baseada em Confiabilidade

MCC – Manutenção Centrada na Confiabilidade

MESA – Maintenance Engineering Society of Australia

MIKE – Modelling Framework MIKE

MIL-STD – Military Standard

MPS – Método de Solução de Problemas

MPT – Manutenção Produtiva Total

OEE – Overall Equipment Effectiveness

ONS – Operador Nacional do Sistema

PROTÉGÉ II – Modelling Framework PROTÉGÉ II

RCM – Reliability-Centered Maintenance

RCM II – Reliability-Centered Maintenance II

RDR – Modelling Framework RDR

SAE – Society of Automotive Engineers

SBC – Sistema Baseado em Conhecimento

SEMASE – Seminário Nacional de Manutenção do Setor Elétrico

SMRP – Society for Maintenance & Reliability Professionals

SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica

TPM – Total Productive Maintenance

VITAL – Modelling Framework VITAL

RESUMO

ALKAIM, João Luiz. **Metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de manutenção centrada na confiabilidade aplicada em ativos de sistemas elétricos.** 2003. 239f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

O tema geral desta tese é o desenvolvimento de uma metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de manutenção centrada em confiabilidade (RCM) aplicada em ativos de sistemas elétricos. Esta metodologia considera um processo, visando a estabelecer bases de conhecimento padronizadas e reutilizáveis para o setor elétrico, enquadrando-se no modelo tridimensional de PRAX, que busca a transformação de uma organização estruturada no paradigma do conhecimento.

Investigam-se importantes questionamentos, de forma especial:

- O conhecimento intensivo exerce papel crucial no processo de manutenção de sistemas elétricos?
- Metodologia de gestão e engenharia do conhecimento existentes já foram utilizadas no tratamento do conhecimento intensivo em contextos semelhantes à manutenção ou em problemas típicos desta área?
- Qual o sistema de manutenção mais adequado para incorporação do conhecimento intensivo?

Descreve-se a aplicação do sistema de conhecimento CommonKADS num caso exemplo, estabelecendo-se uma base de conhecimento inovadora e uma nova percepção a ser inserida no contexto da disciplina de Gestão e Engenharia do Conhecimento, no âmbito do setor elétrico.

PALAVRAS-CHAVE

Manutenção – Manutenção Centrada na Confiabilidade – Sistema de Conhecimento – CommonKADS – Engenharia do Conhecimento

ABSTRACT

ALKAIM, João Luiz. **Methodology matching intensive knowledge with actions of reliability centered maintenance used in electric systems.** 2003. 239f. Thesis (Doctor of Production Engineering) - Production Engineering Post-graduate Programme, UFSC, Florianópolis.

This paper is about the development of a methodology which has the purpose of matching intensive knowledge with the actions of Reliability Centered Maintenance (RCM) used in electric systems. This methodology presents a process for stablishing standardized and reusable Knowledge bases for electric sectors, fitting itself in a tridimensional model of PRAX that searches for the change of structured organizations within a knowledge paradigm.

Important points arose from it, such as:

- Has the intensive knowledge strong power on the maintenance process of eletric systems ?
- Have the early management methodology and knowledge engineering been used in the intensive knowledge treatment in similar contexts related to maintenance or typical problems of this field ?
- Which system is the most suitable to match intensive knowledge ?

It describes the use of the knowledge system CommonKADS through an example, stablishing a new knowledge base and a new perception to be put in the discipline context of Management and Knowledge Engineering, within the electric sector issues.

KEY WORDS

Maintenance – Reliability Centered Maintenance – Knowledge System – CommonKADS – Knowledge Engineering

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O tema geral da presente tese é o desenvolvimento de um método para incorporar conhecimento intensivo¹ às tarefas de manutenção centrada em confiabilidade (RCM) aplicada em ativos do setor elétrico. Este método considera um processo, visando estabelecer bases de conhecimento padronizadas, reutilizáveis e de ampla utilidade no âmbito do setor.

1.1 CONTEXTO DA TESE

O século XXI inicia-se com o mundo repleto de expectativas crescentes, de restrições regulatórias cada vez mais onerosas, de mudanças de paradigmas da tecnologia da informação dos tempos atuais (Castells, 1999). Trata-se da sociedade em rede de forma global.

Esta revolução está baseada no desenvolvimento de conjuntos convergentes de microeletrônicas, computação, radiodifusão, internet e inclui também a engenharia genética e seu crescente conjunto de desenvolvimento e aplicações.

Surgiu uma nova economia em escala global, chamada de economia informacional, onde empresas, regiões ou nações, dependem basicamente de sua capacidade de gerar, processar e aplicar de forma eficiente a informação baseada no conhecimento. Este fato é bem evidenciado pela Sociedade da Informação da Comissão Européia (IST, 2000).

Em função disto, novas lógicas organizacionais têm surgido, como: da produção em massa à produção flexível, expansão das empresas de pequeno porte à crise das empresas de grande porte, formação de redes entre empresas, alianças corporativas estratégicas de empresas horizontais às redes globais de empresas, entre outras.

No Brasil, um exemplo atual é a reestruturação do setor elétrico do País. Até 1995, a data do início das privatizações, existia o monopólio do fio.

¹ Conhecimento intensivo (versão de *knowledge intensive*) – Termo da engenharia do conhecimento que se refere ao conhecimento cujo domínio é de grande abrangência (Wielinga, 2000,p. IX).

Somente empresas estatais forneciam energia elétrica ao mercado. Na atualidade, após privatização, formou-se um cenário onde os principais atores são a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) criada em outubro de 1998, o Operador Nacional do Sistema (ONS) e o Mercado Atacadista de Energia (MAE). Houve a consolidação do novo modelo elétrico privatizado, onde mais de 200 grupos econômicos já operam e realizam investimentos na geração, transmissão e distribuição de energia.

Neste contexto de transformações, a manutenção de sistemas elétricos talvez sofra mais desafios do que qualquer outra disciplina de gerenciamento. Tal fato deve-se ao grande aumento no número de diversidade de itens físicos (instalações, equipamentos e construções), projetos mais complexos, novas técnicas de manutenção (como manutenção centrada em confiabilidade, manutenção produtiva total entre outras) e aos novos enfoques sobre a empresa e responsabilidade envolvida.

Novos paradigmas devem ser enfrentados, como expostos em EFNMS² (2001):

- Entender com clareza que seu desenvolvimento é uma combinação de sistemas técnicos aplicados com pessoal competente de operação e manutenção;
- Admitir que mudanças de estruturas são necessárias para refletir o ambiente de negócios;
- Reconhecer a importância do envolvimento de todo o pessoal em todos os níveis para alcançar os objetivos do negócio.

As indústrias têm sofrido intensa pressão para proporcionar rentabilidade, segundo a qual não havendo mudanças, não mais produzirão as margens adequadas de sobrevivência econômica.

O conhecimento, na atualidade, é considerado como chave do recurso empresarial e soma-se ao contexto em análise. Este novo enfoque é fruto da era informacional e pode ser melhor compreendido pelas seguintes referências:

- a) (Drucker, 1999, p.24-25)

² EFNMS – European Federation of National Maintenance Societies

Aquilo que hoje consideramos conhecimento, se prova em ação. O que significa conhecimento é a informação efetiva em ação, isto é, informação focada nos resultados. Os resultados estão fora das pessoas, na sociedade e na economia ou nos próprios avanços do conhecimento. Para realizar qualquer coisa este conhecimento deve ser altamente especializado... Ele não poderia ser aprendido ou ensinado. Nem implica em qualquer princípio genérico. Ele é experiência antes de aprendizado, treinamento antes de estudo. Mas hoje nós não falamos desse conhecimento especializado como **habilidade**. Nós falamos dele como uma disciplina. Essa é a grande mudança intelectual jamais registrada. Uma **disciplina** transforma uma habilidade em uma metodologia – como a engenharia, o método científico, o método quantitativo ou o diagnóstico diferenciado dos médicos. Cada uma dessas metodologias converte uma experiência **ad hoc**³ em um sistema. Converte anotações em informação. Converte habilidades em algo que pode ser ensinado e aprendido.

- b) CEPAL⁴ (2000, p.11-12) artigos 19 e 20, onde a ONU tenta por meio deste órgão conscientizar os países latino-americanos para a importância da moderna sociedade do conhecimento.

Segundo a CEPAL, a transição para esta nova sociedade requer um importante esforço de treinamento individual dos trabalhadores, empresários e consumidores, assim como a criação de um setor produtivo com base na ciência e tecnologia. As tecnologias da Informação e Comunicação constituem a infra-estrutura e a equipe física da economia com base no conhecimento, porém é o conhecimento tácito incorporado aos indivíduos que constitui o motor da nova economia. Daí a necessidade de se transformar dados em informações e informações em conhecimento com a finalidade de definir e manter as vantagens da competitividade, implicando no crescente interesse pela atual Gestão do Conhecimento.

Fazendo um paralelo na história, Wielinga (2000, p.03) comparou esta transição à Revolução Industrial que transformou o trabalho manual. Neste processo, novas disciplinas emergiram tal como engenharia mecânica, química e elétrica, que forneceram a fundamentação científica para esta revolução. Da

³ ad hoc – expressão latina que significa “para isto”, “para este caso”

⁴ CEPAL – Comissão Especial para América Latina (órgão da ONU).

mesma forma nos tempos atuais, a Sociedade da Informação/Conhecimento está revolucionando o trabalho intelectual. Novas disciplinas estão também emergindo e servem de base científica para este processo.

Uma dessas novas disciplinas é a *Engenharia do Conhecimento*. Tal como a engenharia mecânica e elétrica que fornecem teorias, métodos e técnicas para a construção de carros, por exemplo, a engenharia do conhecimento nos equipa com metodologia científica, alicerçada na ciência cognitiva para analisar o conhecimento destes campos.

Drucker (1999, p.21-24) menciona as idéias básicas que norteiam a engenharia do conhecimento hoje:

- o conhecimento não é um bem estático a ser minerado, só existe quando se produz algo com ele ou a partir dele;
- o conhecimento não é individual, mas organizacional ou institucional;
- o conhecimento não é genérico, mas associado ou produzido pela solução de uma classe particular de problema ao qual está associado;
- conhecimento não é um conjunto de regras de solução, mas uma experiência que foi sistematizada e pode ser transmitida.

A engenharia do conhecimento se desenvolveu a partir do fim da década de 60, como arte de construir sistemas especialistas setorializados, até os tempos atuais com sistemas de conhecimento intensivo que permitem uma análise global do conhecimento corporativo de organizações. Como exemplo tem-se o sistema CommonKADS⁵ (Wielinga, 2000, p. XII) que permite desde a construção de sistemas de conhecimento para levantamento de fraudes em cartões de créditos até o desenvolvimento de software científico mais inteligente entre outras aplicações.

Procurou-se mostrar até o presente momento, de forma concisa, os desafios da manutenção e a transição para a sociedade do conhecimento. Neste ponto insere-se o trabalho de tese, que envolve duas grandes vertentes já epigrafadas: a manutenção centrada em confiabilidade e a gestão do conhecimento como processo de engenharia.

⁵ CommonKADS – estrutura de modelagem para sistema baseado em conhecimento.

1.2 TEMA DA TESE

O tópico principal deste trabalho, como referenciado, inicialmente é desenvolver um método que permita incorporar conhecimento intensivo às tarefas de manutenção centrada em confiabilidade utilizada em projetos do setor elétrico. Tal proposta enquadra-se no modelo tridimensional de Prax⁶ (apud ANGELONI, 2002, p.18-21) que busca a transformação de uma organização com base no paradigma do conhecimento. Neste sentido, importantes questões devem ser investigadas e respondidas:

- 1. O conhecimento intensivo exerce papel crucial no processo de manutenção de sistemas elétricos?**
- 2. Em caso afirmativo, os sistemas de manutenção atuais tratam adequada e efetivamente o problema?**
- 3. Qual o sistema de manutenção mais propício para incorporação do conhecimento intensivo?**
- 4. A metodologia de gestão e engenharia do conhecimento existente já foi utilizada no tratamento de conhecimento intensivo em contextos semelhantes à manutenção ou em problemas típicos desta área?**
- 5. Em caso afirmativo, resolveram a questão do conhecimento intensivo na área de manutenção? Caso contrário, como a tecnologia de gestão e engenharia do conhecimento podem fazê-lo?**

1.3 JUSTIFICATIVA

A área elétrica é extremamente sensível a toda transformação tecnológica, pois seu avanço depende cada vez mais dos atributos de precisão, eficiência e da qualidade do fornecimento de energia elétrica.

Este fato se apresenta de forma inquestionável para os brasileiros, com o programa de racionamento de energia elétrica, como para os americanos da

⁶ Jean Yves Prax – autor de *Manager la connaissance dans l'entreprise: les nouvelles technologies au service de l'ingenierie de la connaissance*. Paris: INSEP, 1997.

Califórnia com os seus programas de desligamentos voluntários (democráticos), ambos ocorridos em 2002.

Como foi exposto no item 1.1, junto com a transformação tecnológica somam-se a econômica, gerencial e, por conseguinte, a social. Como fatores conseqüentes aparecem desafios como privatizações, terceirizações, impactos ambientais, etc para muitas regiões do planeta. Exemplo recente no cenário brasileiro é o das Centrais Elétricas do Sul do Brasil – Eletrosul subsidiária da Eletrobrás, que operava na região que compreendia os estados: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso do Sul.

Em 1998, a Eletrosul desmembrou-se em três empresas: o sistema de transmissão de energia continuou como Eletrosul (estatal), o parque gerador foi incorporado à Tractebel Energia (privatizada) e o sistema de operação ficou sendo parte do ONS – Operação Nacional de Sistema (privatizado).

Na estatal ocorreu a desestruturação dos quadros e nas privatizadas a tentativa de recomposição do pessoal, inclusive com terceirização de serviços. Mas em todas estas transformações houve perda de rico material humano, que detinha parte do conhecimento da área, bem como mudança de padrão comportamental.

Estas empresas enfrentam o desafio da sobrevivência com as novas regras impostas de relacionamento e de mercado, bem como o desafio da obsolescência tecnológica e gerencial.

Independente de qualquer problema, dois fatos sempre estarão presentes em todo o mundo: 1) a demanda por energia elétrica continua crescendo e tendo entre suas conseqüências a expansão do parque elétrico; 2) os equipamentos continuam a envelhecer e falhar, obrigando um tipo de ação.

Todos estes desdobramentos estão referendados no plano de desafios do EPRI⁷ (2000). No final da década de 90, este relatório colocou à disposição das empresas associadas o Electricity Technology Road Map Iniciative, explorando os seguintes cenários: a) o desafio do sistema de potência; b) o desafio do usuário; c) o desafio econômico; d) o desafio da energia/carbono; e) o desafio da demografia global.

⁷ EPRI – Electrical Power Research Institute (Estados Unidos)

De forma objetiva, o relatório materializa estes cenários em programas como o Strategic Science & Technology Program, com revisão anual.

Neste ponto do trabalho cabe apontar relevantes constatações e tendências, além das apresentadas anteriormente:

- No âmbito do setor elétrico ainda não existe uma padronização de procedimentos de manutenção, cada empresa tem sua política própria.
- O ambiente de sistemas elétricos é complexo englobando como visto no item 1.1 diversas tecnologias, equipamentos e sistemas de diferentes fabricantes e fornecedores. Como consequência, as soluções de gerência também são complexas, mas na atualidade um grande número de plantas elétricas enfrentam o desafio da obsolescência tecnológica e gerencial. Como apontado pelo EFNMS é de suma importância para a sobrevivência econômica admitir que mudanças de estruturas e do modo de gerenciar ativos físicos são necessárias para refletir o ambiente de negócios.
- A complexidade do ambiente exige que as soluções gerenciais empreguem conhecimentos advindos do uso de diferentes tecnologias, paradigmas e campos da ciência, tais como: engenharia de software, sistemas especialistas, teoria de falhas, tecnologia de materiais, etc.
- Normalmente os conhecimentos necessários para as tomadas de decisões gerenciais ultrapassam as informações contidas em banco de dados, relatórios, livros e manuais técnicos, isto é, deve-se dispor de mais do que o conhecimento na forma explícita. Boa parte das ações são estruturadas pelo conhecimento tácito, adquiridos ao longo dos anos e acumulado individualmente por profissionais da área. Somente a junção dos dois tipos de conhecimento é que ajuda a resolver os problemas, isto é, com o desenvolvimento da gestão do conhecimento. (Kol , 2000)
- As estruturas de informações empregadas normalmente no meio elétrico, e por conseguinte na manutenção, definem estruturas de dados para representar como estas informações se relacionam, como são identificadas e manipuladas. Não fazem referência, nem orientam como representar informações importantes oriundas das experiências práticas de como gerenciar, isto é, explicitar o tácito. **O desafio dessa Idade do**

Conhecimento é como tornar este patrimônio volátil, não registrável em algo que possa ser capturado, tornado independente das pessoas que o retém e, em algum grau, medido. (Abel, 2002, p.06)

- A maleabilidade dos sistemas de conhecimento de 2ª geração, como o CommonKADS, permite a captura do conhecimento desejável de uma organização e o desenvolvimento de bases de conhecimento padronizadas e reutilizáveis, conforme pode-se verificar em Wielinga (2000, p.85-121). Um aspecto importante evidenciado pela análise do quinto capítulo desta tese, é a constatação de nenhum registro específico da aplicação do CommonKADS em projetos de manutenção de Sistemas Elétricos, em especial da RCM, nos principais fóruns mundiais elencados na página 47 deste trabalho.

Balizado por estes fatos, o trabalho de tese insere-se em três contextos importantes de arranjos científicos e tecnológicos:

(I) Contribuir para a construção de soluções em manutenção de sistemas elétricos, em especial, na manutenção centrada em confiabilidade.

(II) Identificar, analisar e realizar engenharia com o conhecimento intensivo, distinguindo nova solução entre as diferentes que existem para o problema da manutenção.

(III) Contribuir para a disciplina de Gestão e Engenharia do conhecimento intensivo, no âmbito do setor elétrico.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia que incorpore de forma padronizada conhecimento intensivo às tarefas de manutenção centrada em confiabilidade necessárias a equipamentos, ou blocos de equipamentos ou a sistemas elétricos inteiros, através da abordagem de Sistema Baseado em Conhecimento (SBC) estruturado em níveis de conhecimento.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar o papel de conhecimento intensivo na manutenção centrada em confiabilidade;
- Identificar um padrão metodológico adequado para manutenção centrada em confiabilidade;
- Selecionar tarefas utilizadas no padrão metodológico como base para agregação do conhecimento na solução de um caso;
- Identificar um padrão metodológico adequado para gerenciamento, análise e engenharia do conhecimento corporativo;
- Aplicar a metodologia de gestão do conhecimento indicada na manutenção centrada em confiabilidade segundo seu padrão metodológico;
- Modelar um caso exemplo real, baseado no item anterior;
- Mostrar que bases de conhecimento desenvolvidas pela metodologia proposta podem ser compartilhadas e reutilizadas.

1.5 METODOLOGIA DE TRABALHO

Este trabalho propõe incorporar conhecimento intensivo às tarefas de Manutenção Centrada em Confiabilidade de sistemas Elétricos. Esta proposta foi alicerçada nas hipóteses: a) O conhecimento intensivo exerce papel crucial nos sistemas de manutenção centrada em confiabilidade; b) Os métodos de manutenção não tratam adequadamente a questão do conhecimento intensivo; c) A inserção de uma metodologia de gestão e engenharia do conhecimento na solução de problemas de manutenção traz solução inovadora, relevante e mais eficaz em detrimento às existentes na atualidade.

Com o objetivo de corroborar estas hipóteses, torna-se necessário compreender os domínios envolvidos, identificando suas propriedades, características, conceitos básicos, requisitos funcionais e principalmente a natureza do conhecimento em análise, pois a compreensão é que permite a visualização das funcionalidades básicas requeridas para esta agregação. No sentido de sedimentar esta compreensão, serão desenvolvidas as seguintes etapas: **1) Fundamentação teórica da área de manutenção com aprofundamento do estudo da manutenção centrada na confiabilidade; 2) Levantamento do papel do conhecimento na manutenção, e em especial**

na manutenção centrada na confiabilidade; 3) Levantamento de como os métodos utilizados pela manutenção consideram o conhecimento intensivo; 4) Levantamento e análise das metodologias de tratamento da gestão do conhecimento; 5) Identificação dos principais elementos metodológicos e processos de gestão do conhecimento aplicáveis à manutenção, em especial à manutenção centrada em confiabilidade.

As fundamentações, levantamentos e identificações utilizam tanto estudos descritivos, quanto abordagem qualitativa e são desenvolvidos ao longo dos capítulos 2, 3, 4 e 5 deste trabalho, para finalmente construir a metodologia proposta apresentada no Capítulo 6.

A Figura 1.1 a seguir ilustra de forma esquemática a metodologia da presente tese:

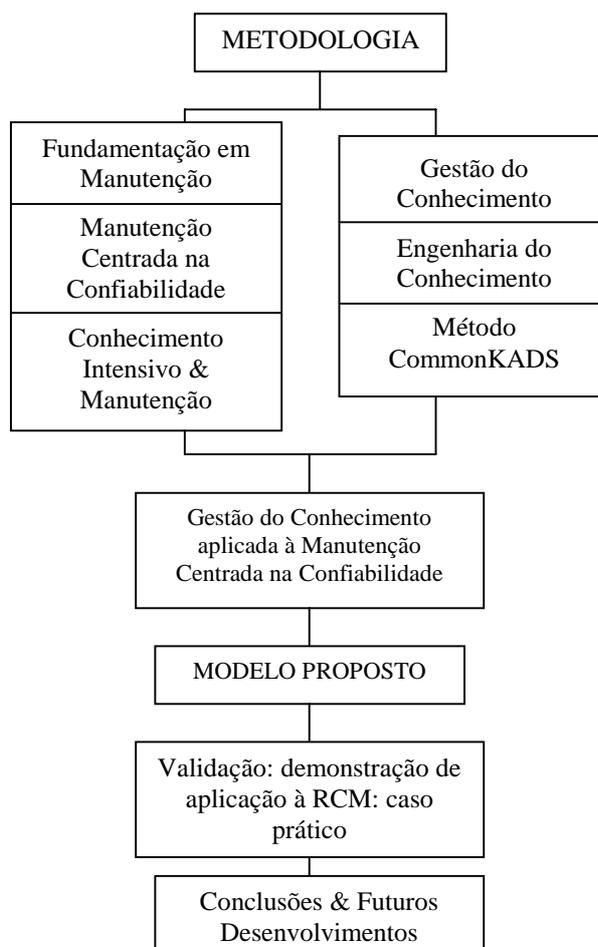


Figura 1.1: Metodologia da Presente Tese

1.6 MOTIVAÇÃO

Uma das principais características dos sistemas elétricos é sua complexidade. A história de sua evolução na forma de gerações de idéias, apresentada no Capítulo 2 deste trabalho mostra que o tema de manutenção não é novo, mas manutenção centrada em confiabilidade em sistemas de potência foi utilizada a partir de 1984 pelo EPRI, em usinas nucleares americanas.

A tecnologia de engenharia do conhecimento estruturada em níveis, que permitiu o desenvolvimento da metodologia CommonKADS, que gera sistemas de conhecimento intensivo, floresceu a partir de 1983 e se consolidou por volta de 1994 no âmbito do projeto ESPRIT⁸.

Uma das principais contribuições desta tese está em unir duas vertentes tecnológicas de tal forma que permita incorporar conhecimento às tarefas de manutenção centrada em confiabilidade, permitindo estabelecer novas estratégias para criar, adquirir, compartilhar e utilizar ativos de conhecimento.

Outro fator importante deste trabalho é a possibilidade do desenvolvimento de nova cultura nos ambientes de tomada de decisão no setor elétrico, onde possam ser criadas metodologias que obtenham informações e os conhecimentos adequados às atividades de gerenciamento, a partir de experiências práticas em manutenção e disponibilizá-las de forma padronizada para futuro uso organizacional.

1.7 DELIMITAÇÕES

Este trabalho se limitará ao desenvolvimento de uma metodologia que permite modelar a incorporação de conhecimento de forma padronizada às tarefas selecionadas dos casos de manutenção centrada em confiabilidade

Não constitui objeto de estudo, estabelecer e dimensionar plataformas compatíveis e adequadas para implementação computacional deste sistema de conhecimento intensivo , bem como analisar ou estabelecer o conhecimento

⁸ ESPRIT – European Strategic Program for Research and Development in Information Technology

individual de cada ator que envolve um grupo de especialistas (grupo de RCM) para o desenvolvimento das atividades de manutenção centrada em confiabilidade como referenciada nos capítulos 3, 4, 6 e 7 desta tese.

1.8 CONTEXTUALIZAÇÃO DA TESE NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

O primeiro passo para compreender esta contextualização é entender o conceito de Engenharia da Produção. Neste sentido deve-se iniciar pela formação profissional do engenheiro. Basso (2000, p.214-221) assim explicita:

Nos diversos países existem áreas de formação distintas para os profissionais da engenharia, fruto, certamente, de peculiaridades de cada país, ou, até mesmo de tradições que foram mantidas ao longo dos tempos.

No Brasil, seis grandes áreas de formação profissional são reconhecidas, e que são estabelecidas pela Resolução Nº 48/76 do CFE – Conselho Federal de Educação. Estas seis grandes áreas, que englobam as diversas atividades da engenharia no Brasil, são: Civil, Elétrica, Mecânica, Metalúrgica, Minas e Química.

A seguir, são analisadas as áreas de atuação profissional do engenheiro. Basso (2000, p.221) divide-a em dois níveis: vertical e horizontal. No sentido vertical encontram-se os vários níveis de aprofundamento da profissão e as formas de nela atuar, na horizontal pode-se identificar as características e as atividades de cada ramo de atuação. A figura a seguir ilustra esta concepção:

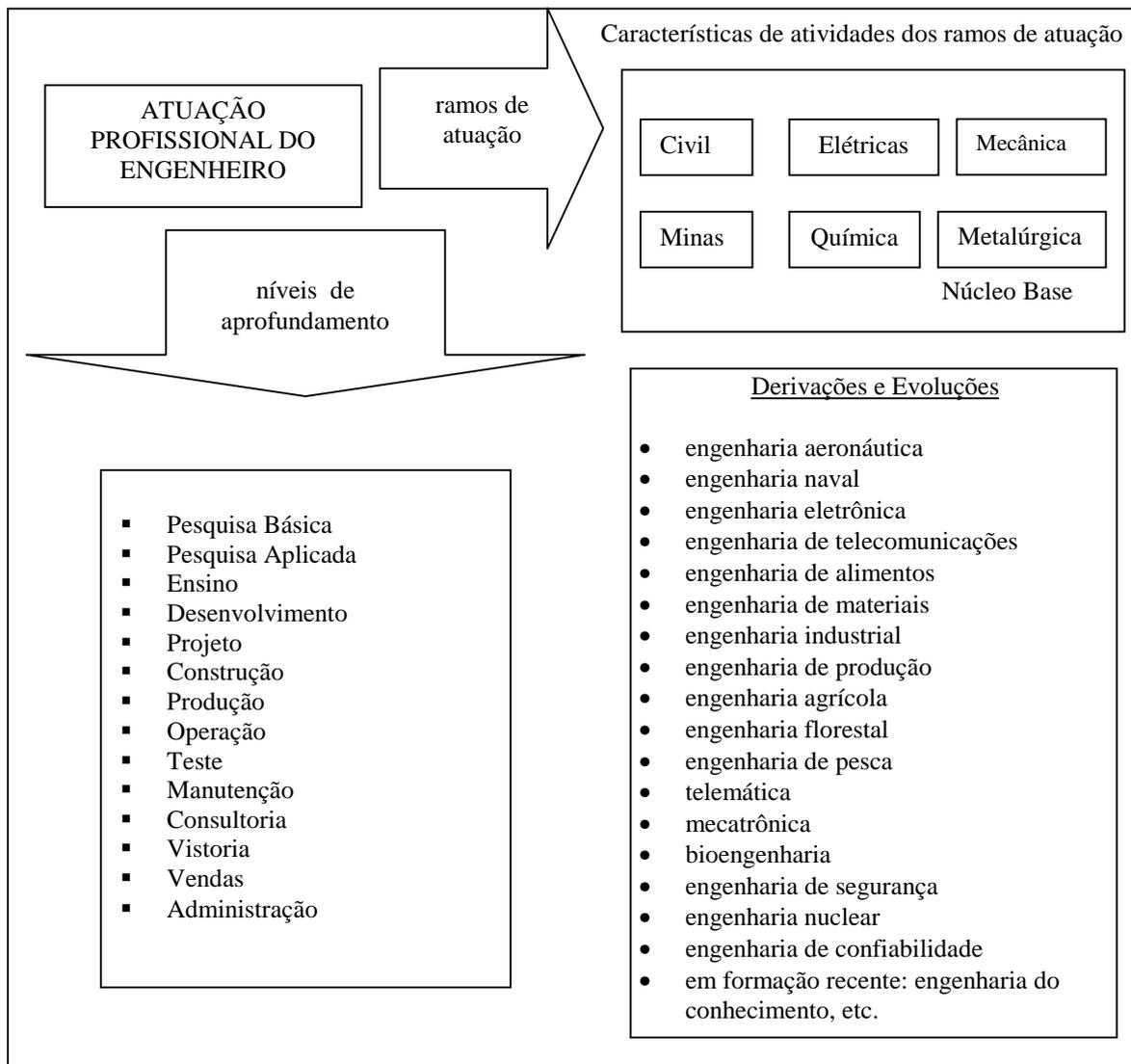


Figura 1.2: Níveis de atuação profissional do engenheiro
 Fonte: Basso (2000, p.196-240)

Dentro da ótica de atuação são apresentadas adiante algumas concepções do entendimento da engenharia de produção:

- (1) Concepção clássica adotada pelo Institute of Industrial Engineering (I.I.E.) dos Estados Unidos, pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO) e pelo curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (UFMG, 2003)

Compete à Engenharia de Produção o projeto, a implantação, a melhoria e a manutenção de sistemas produtivos integrados, envolvendo homens, materiais e equipamentos, especificar, prever e avaliar os resultados obtidos destes sistemas, recorrendo a

conhecimentos especializados da matemática, física, ciências sociais, conjuntamente com os princípios e métodos de análise e projeto da engenharia.

Esta definição ressalta a multidisciplinaridade da Engenharia de Produção.

(2) conforme apresentado pelo curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), (EPS, 2003), o objetivo do Curso é:

formar profissionais que, além de terem habilitação e capacitação técnica para desenvolverem trabalhos tradicionalmente realizados pela área escolhida – Engenharia Mecânica, Engenharia Elétrica ou Engenharia Civil – também estejam preparados para adicionalmente desempenharem funções gerenciais e de liderança administrativa em todos os níveis da organização.

(3) Conforme curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), (UFRGS, 2003):

A Engenharia de Produção, ao voltar ênfase para as dimensões do produto e do sistema produtivo, veicula-se fortemente com as idéias de projetar produtos, viabilizar produtos, projetar sistemas produtivos, viabilizar sistemas produtivos, planejar a produção, produzir e distribuir produtos que a sociedade valoriza.

(4) Segundo Basso (2000, p.235-236):

A Engenharia de Produção é uma habilitação específica derivada de qualquer uma das seis grandes áreas da engenharia. Assim existem cursos de engenharia de produção elétrica, de produção civil, de produção mecânica, etc.

Numa empresa, a produção implica racionalização e otimização de processos, das matérias-primas empregadas ou da energia consumida, bem como melhor aproveitamento do pessoal disponível. O profissional responsável por garantir que se tenha esta produção otimizada e racionalizada, dentro dos níveis de qualidade exigidos, cuidando do bom balanceamento da linha de produção – que envolve

métodos e tempos de montagem, alocação de pessoal, ferramentas, velocidades de trabalho, etc.

Estas concepções evidenciam como a área de elétrica pode ser contextualizada na área de produção e em especial a manutenção de sistemas.

Neste sentido específico a partir da revisão da norma ISO 9000, atividade de manutenção passou a ser considerada como requisito de controle de processo, como citado por Tavares na página 37 deste trabalho.

No item 1.1 deste capítulo procurou-se mostrar o crescente interesse pela Gestão do Conhecimento e no seu bojo a engenharia do conhecimento.

Esta nova engenharia conforme explicação de Wielinga (2000, p.01-20) não é utilizada só para desenvolver sistemas baseados em conhecimento, mas também para gerenciamento do conhecimento, modelagem de empresas e reengenharia de processos e negócios. Está alicerçada em princípios e métodos definidos, como exemplificado pelo sistema CommonKADS. Com seu caráter multidisciplinar e no centro da Era do Conhecimento, onde muitos estudos apontam para o fato de que não há uma grande ligação de investimentos em tecnologia da informação e desempenho dos negócios ou aumento da produtividade (Terra, 2002, p.60), tende a engenharia do conhecimento se universalizar em todos os ramos, que envolvem fatores de produção, conforme prognóstico de Drucker e citado em Nonaka (1997, p.05).

Deste modo, o trabalho de tese que envolve modelagem de conhecimento em manutenção centrada em confiabilidade de ativos elétricos, insere-se de forma adequada no contexto da engenharia de produção.

CAPÍTULO 2: A MANUTENÇÃO DE SISTEMAS

Resumo: Neste capítulo são analisados os seguintes tópicos:

- principais concepções sobre manutenção
 - a importância da manutenção no contexto das organizações
 - sua evolução histórica na forma de gerações de idéias
 - de como a compreensão de falha estruturada na “curva banheira” conduziu ao conceito de manutenção preventiva, sua obsolescência face às novas descobertas: novos padrões de falha e o surgimento da manutenção centrada em confiabilidade e manutenção produtiva total
 - práticas de manutenção no sistema elétrico brasileiro, sua crise e propostas de novas direções
 - práticas de manutenção a nível mundial
-

2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma ampla investigação da evolução da manutenção ao longo das últimas décadas, suas práticas no Brasil e no mundo. Seu objetivo é o de fundamentar a hipótese de que os métodos de manutenção não tratam adequadamente a questão do conhecimento intensivo, além de ajudar a responder qual o sistema de manutenção mais adequado para incorporação deste conhecimento.

2.2 A MANUTENÇÃO DE SISTEMAS – SUAS DEFINIÇÕES

Conforme Dunn (2002) comenta em seu trabalho de terminologia, apesar da British Standards Institution (BSI) continuar aperfeiçoando um padrão (BS 3811 apud Filho, 2000) para termos usados em terotecnologia⁹, existe um longo caminho para se obter um entendimento padronizado dos termos fundamentais relativos ao dia a dia dos profissionais de manutenção. Deste modo, a exemplo de Dunn cada autor ou instituição quando apresenta algum trabalho ou pesquisa, elege os conceitos mais utilizados no seu ambiente.

A seguir são analisadas concepções para o conceito de manutenção de sistemas:

⁹ Terotecnologia – conjunto de práticas de gerenciamento, financeiras, técnicas e de outros tipos, que são aplicadas à ativos físicos para reduzir os custos do ciclo de vida (FILHO, 2000, p.128)

(1) Como definido pelo Code of Federal Regulations – USA (10 CFR 50-65 apud August, 1999, p.372) “Um agregado de funções requeridas para preservar ou restaurar a segurança, confiabilidade e disponibilidade das estruturas das plantas, sistemas e componentes”.

(2) Conforme apresentada em Giacomet (2001, p.27) e utilizada por Itaipu:

Manutenção é toda ação realizada em um equipamento, conjunto de peças, componentes, dispositivos, circuito ou estrutura que se esteja controlando, mantendo ou restaurando, a fim de que o mesmo permaneça em operação ou retorne a função requerida, ou seja, o conjunto de condições de funcionamento para o qual o equipamento foi projetado, fabricado ou instalado. O equipamento deve desempenhar sua função requerida com segurança e eficiência, considerando as condições operativas, econômicas e ambientais.

(3) Moubrey (1997, p.06) no seu trabalho discute o conceito:

Os principais dicionários definem fazer manutenção como possibilidade de continuar (Oxford) ou manter em estado existente (Webster). Isto sugere que manutenção significa preservar alguma coisa. Decorre que: Manutenção: assegura que os ativos físicos continuem a fazer o que os usuários querem que eles façam.

(4) Segundo Tavares (1996, p.36):

“Manutenção – todas as ações necessárias para que um item (equipamento, obra ou instalação) seja conservado ou restaurado, de modo a poder permanecer de acordo com a condição especificada.”

(5) Para Monks (1989, p.446):

“A Manutenção é uma atividade desenvolvida para manter o equipamento ou outros bens em condições que irão melhor apoiar as metas organizacionais. As decisões de manutenção devem refletir a viabilidade do sistema a longo prazo.”

(6) Dunn (2002)

Manutenção – qualquer atividade executada num ativo de modo a assegurar que o mesmo continue a desempenhar sua função requerida ou para reparar o equipamento. Chama-se atenção que modificações não são manutenção, apesar delas poderem se executadas pelo pessoal de manutenção.

(7) British Standard 3811 (BS 3811 apud Filho, 2000, p.82):

A manutenção é uma combinação de técnicas e medidas administrativas com a finalidade de conservar um item em seu estado, ou restabelecer este estado, no qual ele possa realizar um determinada função.

(8) Association Française de Normalization NF 60-010 (AFNOR NF 60-10 apud Filho, 2000, p.82): “A manutenção é um conjunto de ações que permitem restabelecer um bem para seu estado específico, ou medida para garantir um determinado serviço.”

(9) ABNT NBR 5462-1994 (apud Filho, 2000, p.83):

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. A manutenção pode incluir uma modificação de um item.

(10) Uma das melhores concepções de manutenção é apresentada por Gits (1992, p.217-218) no seu projeto de conceitos de manutenção. Fundamentou seu trabalho nas referências de McCall (1965, p.493-524); Pierskalla (1976, p.352-388), Geraerds (1972, p197-219), Nowlan (1978, p.566-579) e outros.

Fez a seguinte proposição:

O processo primário numa organização industrial é a produção no qual a sua entrada primária (material, energia, potência

humana) é transformada na saída da produção primária (o produto desejado). Este processo de transformação se utiliza de um sistema técnico.

Um sistema técnico é uma coleção de elementos físicos que preenchem uma função específica. O estado do sistema técnico é a habilidade física considerada relevante para preenchimento de sua função. Este estado pode ser alterado por causas externas, envelhecimento e uso, que conduz inevitavelmente a uma saída de produção secundária, a demanda da manutenção.

Manutenção é o total de atividades requeridas para manter os sistemas, ou restaurá-los ao estado necessário para executar a função de produção (Figura 2.1).

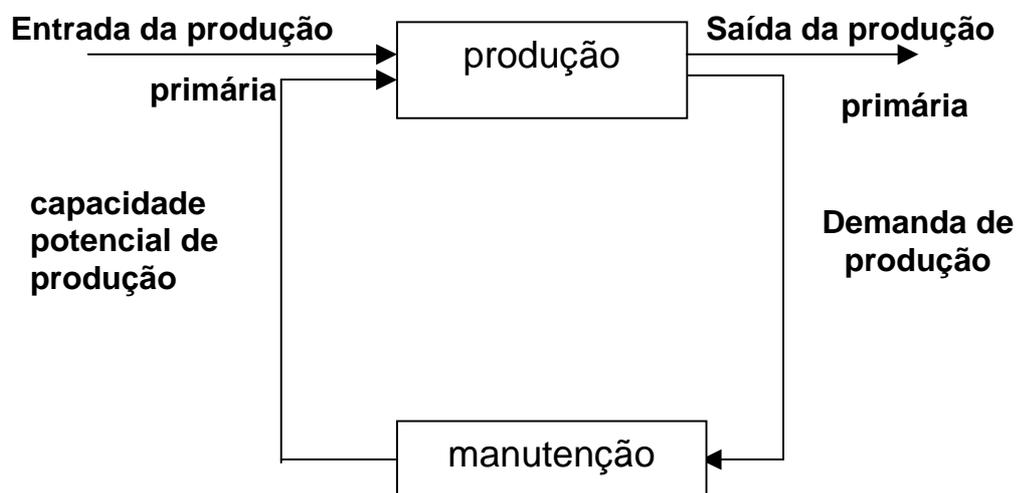


Figura 2.1: A relação entre produção e manutenção
Fonte: Gits (1992, p.218)

Independente da definição que se utilize de manutenção, percebe-se que as definições ora citadas neste capítulo utilizam a expressão “manter”, “restabelecer”, “conservar”, “restaurar” ou “preservar” a função requerida do ativo físico de um sistema.

A conceituação de manutenção já permite destacar o papel que o conhecimento pode exercer na eficácia e eficiência de seus processos. Para que o sistema técnico (Gits, 1992) possa apoiar, preservar e, em última instância aperfeiçoar as metas organizacionais (Monks, 1989), é necessário conhecimento na forma da correta aplicação de técnicas e medidas

administrativas (B53811 & ABNT NBR 5462), o que implica no emprego de conhecimento técnico, administrativo, organizacional e, especialmente, do negócio a que o sistema técnico da manutenção apóia.

2.3 A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO

A saúde física e financeira da maioria das organizações depende da integridade continuada, física e funcional dos seus ativos. Esta é uma das mais relevantes características da atividade econômica do final do século vinte e início do século vinte e um, conforme análise do Moubray (2001, p.01-02). A disposição à mudança domina quase tudo o que tem sido atualmente escrito sobre gerenciamento. Todas as disciplinas estão sendo exortadas a se adaptar às mudanças no projeto da organização, na tecnologia, nas habilidades de liderança, comunicações, virtualmente em todos os aspectos do trabalho. Segundo Moubray,

no velho paradigma da manutenção, o objetivo era otimizar a disponibilidade da planta ao mínimo custo, no novo paradigma manutenção afeta todos os aspectos do negócio: segurança, integridade ambiental, eficiência energética e qualidade do produto, não somente a disponibilidade da planta e custo.

Os exemplos a seguir procuram evidenciar a importância da manutenção no contexto das organizações:

- 1) As Centrais Elétricas do Sul do Brasil (Eletrosul) em outubro de 1995 apresentavam o seguinte perfil

Usinas: 3 Hidrelétricas e 4 Termelétricas	
UHPF – Passo Fundo	- 2 x 110 Mw
UHSO – Salto Osório	- 6 x 175 Mw
UHSS – Salto Santiago	- 4 x 333 Mw
	2602 Mw
UTAL – Alegrete	- 2 x 33 Mw
UTCH – Charqueadas	- 4 x 18 Mw
UTLA – Jorge Lacerda A	- 2 x 50 Mw
	- 2 x 66 Mw
UTLB - Jorge Lacerda B	- 2 x 125 Mw
	620 Mw
Total: 3222 Mw	
O Sistema de Transmissão é composto de 28 subestações (8.745 MVA) e 8567 Km de Linhas de Transmissão (desde 69 a 525 KV)	
A comercialização da disponibilidade dessas instalações garante um faturamento líquido de aproximadamente R\$ 392 milhões (valor projetado para 95 com base na realização até outubro)	
Patrimônio Líquido da Eletrosul – R\$ 5,35 bilhões (julho/ 1995)	

Quadro 2.1: Perfil da Eletrosul
Fonte: Eletrosul (1995, p.04)

Valores desta ordem justificam por si só a importância da conservação de seus ativos. O exemplo da usina de Passo Fundo mostra a conseqüência da perda de uma unidade geradora por restrições com manutenção:

- perda de uma unidade geradora equivalente a 100 Mw, com fator de carga 0,4%, durante todo o ano de 1995 ou,
- perda de uma unidade geradora de 47 Mw, com fator de carga 100% durante todo o ano ou,
- prejuízo na chance real de negócio num montante de (47x24x365x23US\$), US\$ 9.469.560,00.

O mercado indica chances de colocação desta energia e, se a disponibilidade é melhor, os contratos são melhores, assim, haverá perda de negócio na ordem de US\$ 9.500.000,00 contra um incremento de despesas da ordem de US\$ 200.000/ano com mão de obra. (DEMH, 1996, p.11).

2) Kirby, em sua análise da pesquisa efetuada pelo SMRP (Society for Maintenance & Reliability Professionals) dos Estados Unidos, em

2000/2001, destaca a importância do papel da manutenção nos sistemas americanos:

a manutenção está crescendo nos negócios americanos. Trinta anos atrás, os custos de manutenção eram de 0,4% a 0,8% das vendas, hoje este nível atinge de 9% a 15%. Os custos de manutenção ficam entre 8 a 12% dos custos do produto.” (KIRBY, 2002).

- 3) A ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção) no seu documento nacional de 2001 apresentou o seguinte quadro relativo ao custo de manutenção em relação ao faturamento das empresas, que continua representando parcela significativa do PIB (Produto Interno Bruto):

<i>Ano</i>	<i>Custo Total da Manutenção / Faturamento Bruto</i>	<i>PIB/FGV</i>
2001	4,47 %	US\$ 26,0 bilhões
1999	3,56 %	US\$ 27,6 bilhões
1997	4,39 %	US\$ 34,0 bilhões
1995	4,26 %	US\$ 23,1 bilhões

Quadro 2.2: Custo da Manutenção

Fonte: ABRAMAN (2001). Documento Nacional – Situação da Manutenção no Brasil no Ano de 2001

- 4) Douglas (1996) no seu relatório em que descreve a experiência do EPRI (Electrical Power Research Institute) com manutenção centrada em confiabilidade detalha o esforço das concessionárias de energia elétrica americanas em reduzir custos de operação e manutenção, devido ao aquecimento da competição. Em plantas nucleares, estas despesas, entre 1981 e 1991 cresceram mais de 120%, tão grande quanto o custo do combustível. A conclusão é de que só com o emprego das novas técnicas baseadas em confiabilidade e qualidade conseguiriam as reduções almejadas.
- 5) Segundo Tavares, a partir da revisão em 1994 da Norma ISO 9000 a atividade de manutenção passou a ser considerada como um requisito de controle de processo, sendo citada como a seguir:

Identificar aquelas características do projeto que são críticas para o funcionamento apropriado e seguro do produto (por exemplo: requisitos de operação, armazenamento, manuseio, manutenção e disposição após uso). Manutenção adequada de equipamentos para assegurar a continuidade da capacidade do processo [...] (Tavares, 1996, p.130-131)

Os exemplos evidenciam tanto a relevância intrínseca da manutenção aos processos organizacionais, como sua crescente participação no cenário financeiro de organizações do setor tecnológico e energético, em particular. Neste sentido, a inclusão de fatores que promovam sua maior eficácia e eficiência contribuem diretamente na melhoria organizacional e podem, dependendo do negócio, constituírem-se em fatos de distinção de mercado.

2.4 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO

O campo da gerência da manutenção é na atualidade em dos mais dinâmicos em mudanças.

Dunn (2001), em seu trabalho “Reinventing the Maintenance Process”, analisa esta dinâmica sob a ótica proposta por Moubrey (1997, p.02-06) em Reability-Centered Maintenance. Descreve as mudanças como sendo em três áreas principais:

- crescimento das expectativas de manutenção,
- melhor entendimento de como os equipamentos falham,
- uma escala sempre crescente de técnicas de gerenciamento de manutenção,

e considera, também estas mudanças acontecendo em três “gerações” como delineadas.

I – Crescimento das Expectativas de Manutenção

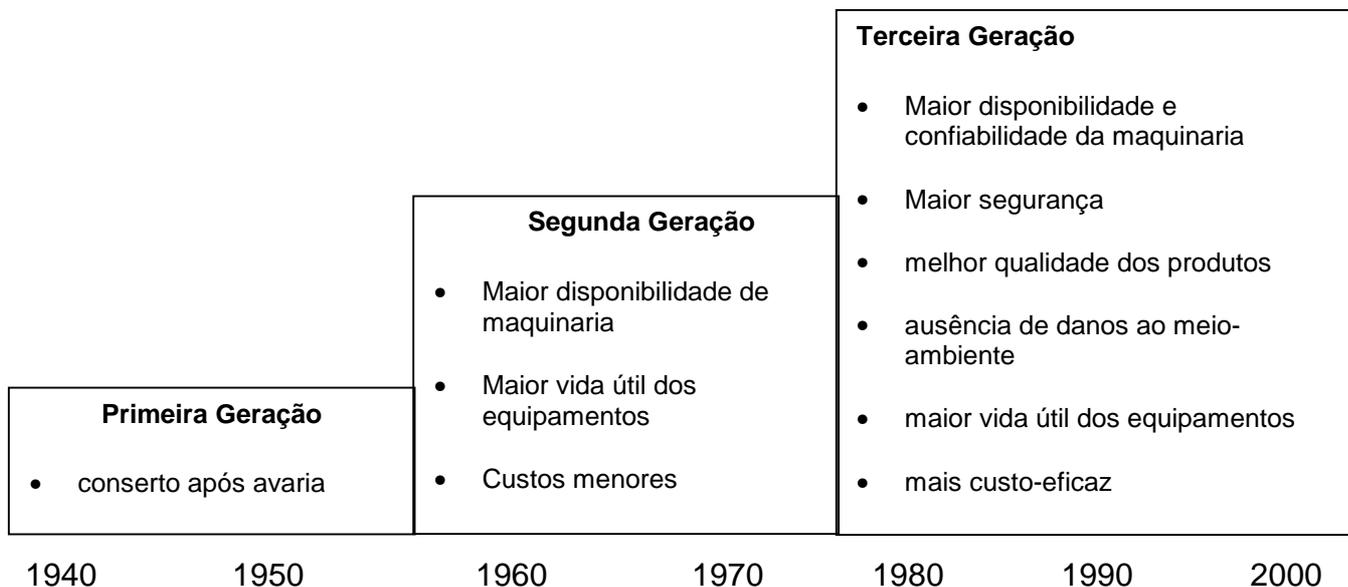


Figura 2.2: crescimento das expectativas de manutenção
 Fonte: Moubray (1997, p.03)

A Figura 2.2 permite verificar o aumento na demanda pelos sistemas de manutenção com relação às exigências organizacionais. Da primeira à terceira geração dos SM, substituiu-se o antigo conceito de substituição após avaria (anos 40-50) por um conjunto de requisitos que incluem desde a disponibilidade e confiabilidade de maquinário ao cuidado com o impacto no meio-ambiente (aos 80-2000). As escalas crescentes de exigência também impactam em maior demanda pelo conhecimento na atividade de manutenção. A Figura 2.3 representa este fato, com o aumento no número de indicadores e análise referentes à atividade de manutenção. Mostra, também, conforme análise de Moubray (1997, p.04), como a concepção mais antiga de falha era simplesmente de que os itens mais velhos, tinham mais probabilidade de falhar. Uma crescente conscientização de “mortalidade infantil” levou a crença generalizada da Segunda Geração na curva “da banheira”. Entretanto, a pesquisada Terceira Geração revelou que não apenas um ou dois, porém seis padrões de falha ocorrem realmente na prática. Este assunto será visto com maiores detalhes no capítulo 3.

A Figura 2.4 destaca o impacto das demandas nas políticas de manutenção. A terceira geração inclui monitoração de condições, análise de

risco, emprego intensivo da tecnologia da informação e de profissionais versáteis, todos fatores de impacto ao emprego de conhecimento intensivo.

II – Melhor entendimento de como os equipamentos falham

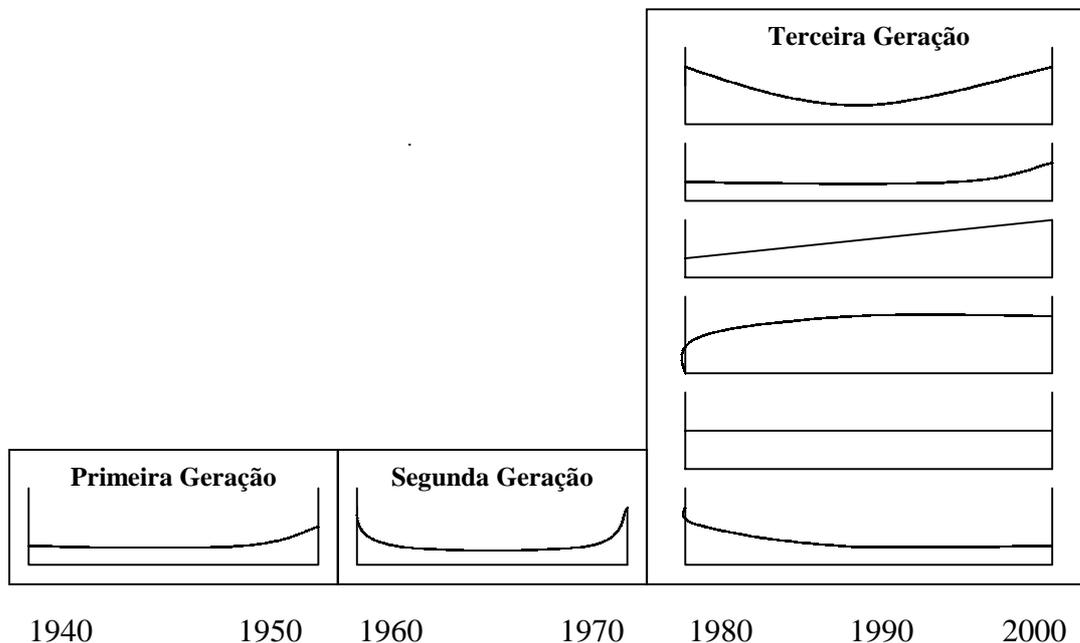


Figura 2.3: Mudanças de visão na falha do equipamento
Fonte: Moubray (1997, p.04)

III - Escala crescente de técnicas de gerenciamento de manutenção

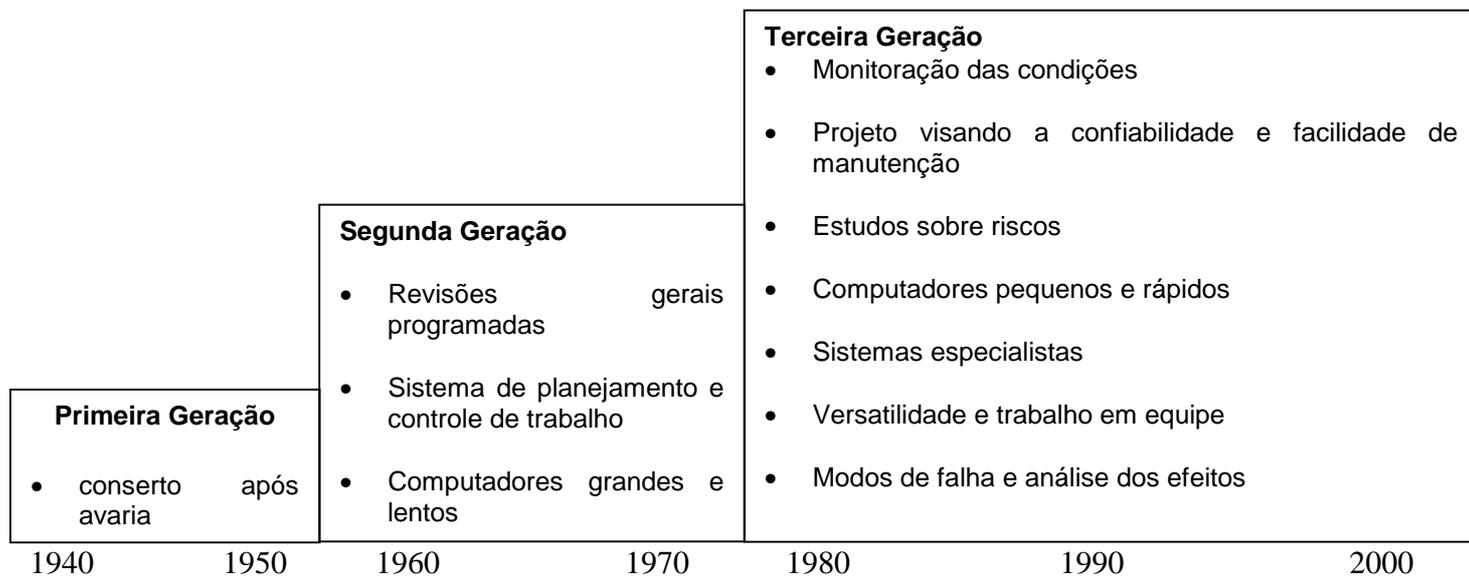
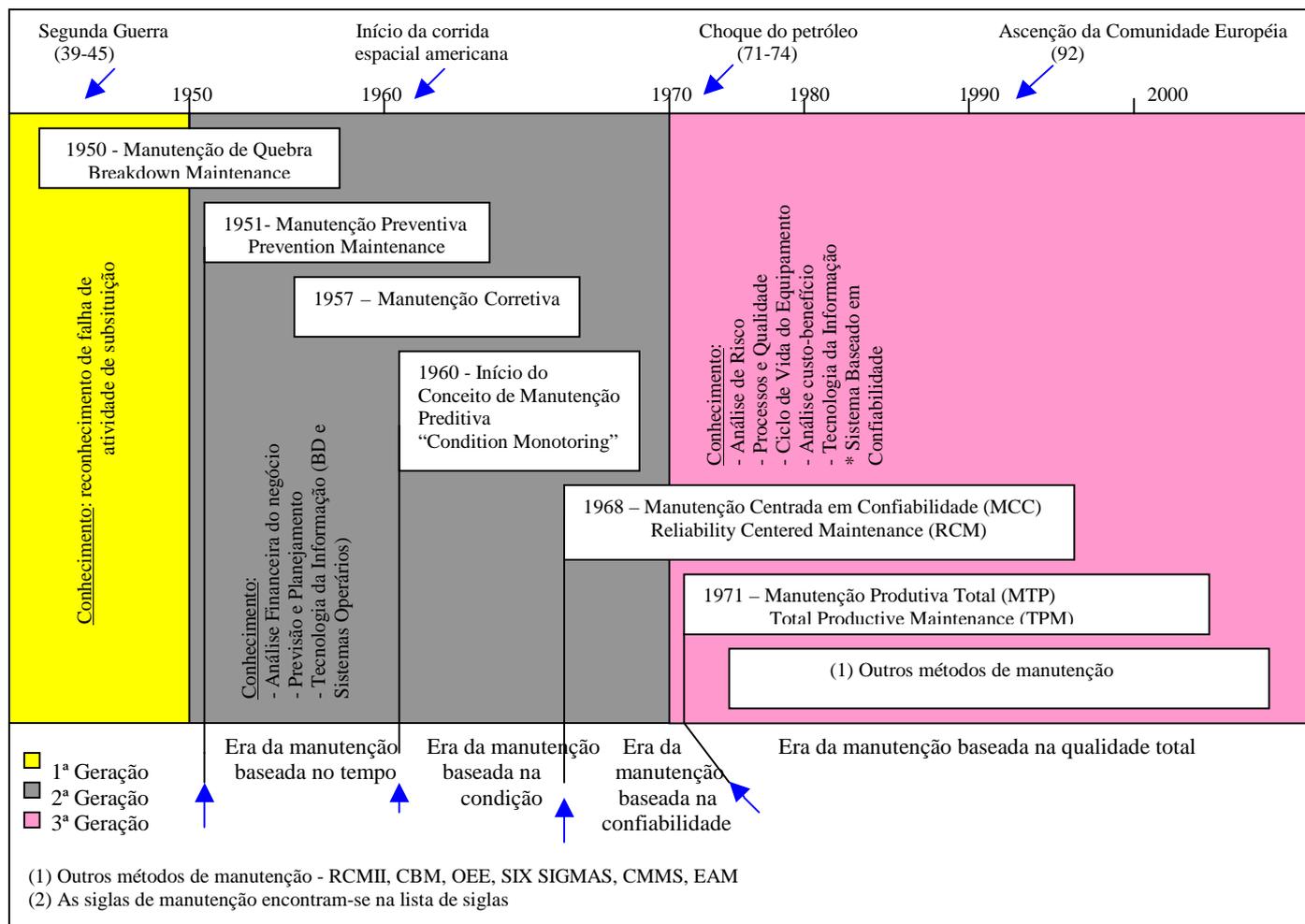


Figura 2.4: Mudanças das Técnicas de manutenção
Fonte: Moubray (1997, p.05)

2.4.1 Síntese Evolutiva da Manutenção



Quadro 2.3 : Evolução da Manutenção

Adaptado de: TPM (1993, p.03) apud Wyrebski, 1998, p.04.

2.4.2 Principais fatos das gerações

A primeira geração abrange o período até a Segunda Guerra.

- A indústria não era altamente mecanizada, não existia a necessidade de manutenção sistemática.

A segunda geração abrange o período do início da década de cinquenta até o choque do petróleo (início em 1971)

- criado o conceito de manutenção preventiva

- concepção de falha alicerçada na curva banheira, corroborando o conceito de manutenção preventiva
- criado o conceito de manutenção corretiva com incorporação de melhorias
- introdução da manutenção por monitoramento (“condition monitoring”)
- surgimento da engenharia de manutenção, confiabilidade e econômica
- integração de aspectos econômicos, de confiabilidade e projeto-otimização de custos
- aperfeiçoamento dos sistemas de informação e controle, uso dos computadores de grande porte

A terceira geração abrange do início do choque do petróleo até os dias atuais.

- incorporação dos conceitos das ciências comportamentais
- surgimento e desenvolvimento da Terotecnologia (do grego Teros = conservar) e da Logística.
 “Terotecnologia – (Terotechnology) – conjunto de práticas de gerenciamento, financeiras, técnicas e de outros tipos, que são aplicadas a Ativos Físicos para reduzir os custos do Ciclo de Vida“ (Filho, 2000, p.128)
- oficialização do TPM (Total Productive Maintenance) na empresa japonesa Nippon Denso, em 1971.
- novas pesquisas revelam que existem na prática seis padrões de falha, causando grande efeito na manutenção
- em 1978 a United Airlines produziu o documento referência inicial de RCM (Reliability Centered Maintenance) sob contrato com Departamento de Defesa (DOD)
- intensa evolução dos conceitos de confiabilidade e qualidade total pelo mundo
- expressivo crescimento de novos conceitos e técnicas de manutenção. Os novos desenvolvimentos incluem
 - ferramentas de suporte às decisões (técnicas de confiabilidade e sistemas especialistas, por exemplo)
 - novas técnicas de manutenção (CBM, 6 sigma, RCMII, por exemplo)

- projeto de equipamento com ênfase na confiabilidade (estudos do EPRI, por exemplo)
- uma alteração no pensamento empresarial em relação à participação, no trabalho em equipe e flexibilidade (RCMII por exemplo)
- introdução da TPM e RCM no Brasil no final da década de oitenta (80)
- revolução da informação e conhecimento centrado em computação, microeletrônicas, radiodifusão, internet e a engenharia genética.

2.5 DOS PRIMÓRDIOS DA MANUTENÇÃO DE 2ª GERAÇÃO ÀS GRANDES IDÉIAS DA 3ª GERAÇÃO

Uma boa imagem da mentalidade sobre manutenção de 2ª geração pode ser vista em Smith (1993, p.02). O crescimento do complexo industrial americano desde a Segunda Guerra Mundial foi dominado por dois fatores: (1) a inovação tecnológica, que conduziu a uma abundância de produtos, que era um mero sonho do pré-guerra, (2) o volume de produção que permitiu o consumo por milhões de pessoas a preços acessíveis nos Estados Unidos e parceiros internacionais.

Deste modo os “*darlings*” do mundo da engenharia foram os projetistas, os inovadores de produtos e os engenheiros de manufaturas que promoviam a capacidade de produção em massa. Como uma resultante e considerados como “*necessary evil*”, se enquadravam a operação e manutenção(O&M).

Neste cenário, foi construída a manutenção de 2ª geração como apresentada no item 2.4.2, onde a idéia de que falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, resultando no conceito de manutenção preventiva.

A base de sustentação dos programas tradicionais de manutenção preventiva (revisões programadas) é o conceito da vida útil do equipamento identificado com a curva banheira e estabelecendo tarefas e freqüências como se os eventos fossem determinísticos. Nesta estrutura, todas as ações de reparo executadas para restaurar equipamentos falhados ou em mal funcionamento era chamada de manutenção corretiva, isto é manutenção não preventiva.

Este modo de gerência de manutenção permaneceu por três a quatro décadas, sendo exportado para muitas partes do mundo, porém apresentava problemas que foram se avolumando e capitalizados pelo EPRI (SMITH, 1993, p.03-06) para suas análises como se descreve a seguir:

- manutenção proativa insuficiente
- repetição freqüente dos problemas
- erros nos trabalhos de manutenção
- práticas de manutenção não institucionalizadas
- manutenção preventiva conservativa e desnecessária
- ações de manutenção preventiva mal projetadas
- programas de manutenção desprovido de clareza
- aceitação cega pelos dizeres do fabricante
- manutenção preventiva variável para unidades similares
- contenção de despesas em aplicações de manutenção preditiva entre outros.

Com o advento da 3ª geração de idéias com novas expectativas, pesquisas e técnicas foi possível uma mudança do ponto de vista gerencial com relação à gestão da manutenção. Dentre estas novas idéias duas foram fundamentais:

- a focalização na confiabilidade dos equipamentos, sua manutenibilidade e disponibilidade
- a perseguição da quebra-zero, defeito-zero e acidente-zero.

Estas idéias fundamentais foram geradoras de duas vertentes de tecnologia de manutenção, a primeira centrada na confiabilidade criando a manutenção centrada na confiabilidade (MCC ou RCM) e a segunda centrada na qualidade, levando ao surgimento da Manutenção Produtiva Total (MTP ou TPM). Outros tipos de manutenções variantes dessas idéias são referenciadas no quadro 2 da página 16. A primeira idéia teve origem nas pesquisas da fabricante de aviação americana e utilizada pela Boeing no 747 (Smith, 1993, p.48) e a segunda pelos japoneses a partir das idéias americanas ali introduzidas após a Segunda Guerra e implantada inicialmente pela Nippon Denso (Toyota) segundo: Fleming (1997, p.02), Kennedy, (2002) e JIPM (2002).

Este trabalho se atém em pesquisar e analisar o foco centrado na confiabilidade e desenvolvida em sistemas elétricos.

2.5.1 A manutenção e a confiabilidade

Segundo o IEEE (2002):

“Reliability is a design engineering discipline wich applies scientific knowledge to assure a product will perform its intended function for the required duration within a given enviromment.”

Esta conceituação foi empregada do longo das décadas do século 20 pela grande maioria dos desenvolvedores e pesquisadores de confiabilidade aplicada como Billinton, (1970, p.03), Endrenyi (1971, p.1909), Ringlee (1973, p.01), Smith (1993, p.28), U.M.R.E - University of Maryland Reability Engineering (2002), Camargo (1981, p.25) entre outros.

Tal disciplina estabelece as leis do aparecimento de falhas nos produtos ou sistemas e os princípios e métodos que devem ser adotados nas fases de planejamento, projeto, fabricação, recepção, transporte e operação, de modo a assegurar-lhes o máximo de eficiência, segurança e economia.

A falha de um componente por mais simples que seja, pode levar a incidentes desastrosos de grande repercussão que podem ser encontrados em SQL / ALADON (2002):

- Amoco Cadiz – 1978 – Costa da França
Incidente com petroleiro, vazamento de petróleo
- Chernobyl – 1986 – Ucrânia / União Soviética
Incidente em usina nuclear
- Bophal – 1987 – Índia
Incidente em indústria de fertilizante (Union Carbide)
- Piper Alpha – 1988 – Inglaterra (Mar do Norte)
Incidente em plataforma de petróleo
- Japão – 1999
Incidente em planta de reprocessamento de urânio
- Baía de Guanabara – 2000 – Brasil
Incidente em oleoduto da Petrobrás
- P-36 – 2001 – Brasil

Incidente em plataforma de Petróleo

➤ Ilha Solteira – 2002 – Brasil

Incidente em linha de transmissão com black-out nas regiões Sul/Sudeste/Centro-Oeste.

Estes incidentes ilustram porque confiabilidade, disponibilidade, segurança e qualidade tornaram-se essenciais em todos os processos de desenvolvimento. A confiabilidade passou a se integrar à manutenção de maneira concreta, quando em 1960, a Federal Aviation Administration que é o órgão americano responsável pela regulamentação das práticas de manutenção das linhas aéreas, formou um grupo de trabalho para desenvolver um programa de confiabilidade para a indústria aeronáutica.

Este foi o início do que viria a ser uma das vertentes de manutenção da 3ª geração, a manutenção centrada na confiabilidade (MCC), conforme referenciada anteriormente. Sua evolução histórica e seus métodos serão discutidos em detalhes no capítulo 3.

2.6 A MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS

Neste item procura-se mostrar como a manutenção de sistemas elétricos é desenvolvida e praticada nas diversas áreas do mundo, nos tempos atuais. Esta investigação está baseada nos trabalhos existentes das grandes associações e fóruns de manutenção do Brasil e do exterior, simpósios e relatórios analíticos empresariais entre outros. O quadro a seguir mostra as fontes referenciadas.

No Brasil foram referenciados:

- ◆ ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção
 - ◆ SNPTTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica
 - ◆ SEMASE – Seminário Nacional de Manutenção do Setor Elétrico
 - ◆ CIGRÉ-BRASIL – Conférence Internationale dos Grands Reseaux Electriques – seção Brasil

No exterior:

- ◆ EFNMS – European Federation of National Maintenance
- ◆ SMPR – Society by for Maintenance & Reliability Professionals
- ◆ MESA – Maintenance Engineering Society of Australia
- ◆ FIM – Federação Ibero – Americana de Manutenção
- ◆ JIPM – Japan Institute of Plant Maintenance
- ◆ IEEE – Institute of Electrical and Eletronics Engineers
- ◆ EPRI – Eletrical Power Research Institute
- ◆ CIGRÉ – Conseil International des Grands Réseaux Électriques
- ◆ CIER – Comisión de Integración Eléctrica Regional

Quadro 2.4 : Associações e Fóruns de Manutenção do Brasil e do Exterior

2.6.1 Cenário Brasileiro

O problema da manutenção no setor elétrico brasileiro até 1999 é bem explicitado por Morozowski (1995, p.01) em sua análise da programação da manutenção de unidades geradoras em sistemas multiárea, quando o planejamento, a operação e a manutenção trabalhavam com pouca integração na maioria das concessionárias de energia elétrica. Morozowski visualiza o problema da manutenção segundo dois modos:

- nível componente
- nível sistêmico

No nível componente, destacam-se os aspectos tecnológicos da manutenção que se manifestam de diversas formas: períodos mais adequados para manutenção, recursos de ferramentaria e de mão-de-obra, e outros intrínsecos aos componentes e às equipes de manutenção. Este enfoque corresponde à visão do pessoal ligado à manutenção da unidade de produção, cujo objetivo consiste na realização das manutenções preventivas de modo a

manter a unidade de produção operando adequadamente sem se preocupar com as implicações ao nível do sistema elétrico.

No nível sistêmico destacam-se os aspectos associados ao desenvolvimento e à gestão dos sistemas de energia elétrica entre os quais têm-se:

- impossibilidade de armazenamento da energia gerada;
- capacidade limitada da rede de transmissão;
- necessidade de se manter um adequado nível de confiabilidade;
- aleatoriedade da carga, da hidrologia e falhas dos componentes;
- contratos e tarifas de suprimento, entre outros(a)s.

Este enfoque corresponde à visão dos planejadores e operadores do sistema, cujo objetivo consiste idealmente em não desligar as unidades geradoras para realização da manutenção, uma vez que isto reduz a confiabilidade do sistema.

Deste modo, a modelagem do problema de manutenção deve levar em consideração tanto os aspectos sistêmicos quanto os aspectos do componente da manutenção.

Neste contexto sempre existirão divergências conforme analisa Lamy (2001, p.05) no relatório prévio do último SNPTEE:

Sabe-se que por herança, ou simples cópia dos sistemas de planejamento e programação americano e europeu, desde a década de setenta, ocorreu durante muitos anos, e ainda ocorre na maioria das empresas do setor elétrico, um excesso indiscriminado de manutenções preventivas, o que tem inferido por todos estes anos, aproximadamente três décadas, uma necessidade de intervenções corretivas devido a problemas onde não havia.

O diagnóstico relativo às manutenções preventivas praticadas nos grandes motores da usina de Charqueadas (1995, p.05) da Eletrosul corrobora a análise de Lamy. Principais constatações do trabalho:

- Nos motores onde a periodicidade da manutenção preventiva foi razoavelmente cumprida, ocorreram tantas manutenções corretivas quanto nos demais motores, o que leva a concluir que da

forma como vem sendo realizada, a manutenção preventiva praticamente não reduz à incidência de manutenções corretivas.

- Cerca de 77% dos problemas que deram origem às ocorrências, poderiam ser detectados sem a abertura dos motores. Portanto, um motor que na base não esteja apresentando algum sintoma tal como vibração excessiva, ruído excessivo, elevação de temperatura excessiva, etc, tem cerca de 23% de chance de possuir um problema interno, não detectável externamente, em geral relacionado com o enrolamento estatórico. Dito de outra forma, tem-se uma margem de acerto de 77% ao optar-se por não abrir o motor que não esteja apresentando sintoma indesejável, desde que monitore-se a vibração, as temperaturas, e realize-se uma inspeção visual periódica de forma adequada. O risco pode ser reduzido se forem aperfeiçoadas as verificações a serem realizadas no enrolamento estatórico, com a inclusão de novas técnicas (medição de descargas parciais) e com a realização sistemática de algumas técnicas já dominadas (hi-pot dc com escalonamento de tempo, por exemplo).

- A realização das preventivas, da forma como vem sendo realizadas tem praticamente duplicado o número de aberturas de motores.

Outro diagnóstico de importância foi apresentado pela CIGRÈ – Comitê Brasil (CE-34), em 1996 e comentado por Gomes (2001, p.02), sobre a realidade em que se encontra a manutenção dos sistemas de proteção das grandes concessionárias do setor elétrico.

Nem todas as empresas têm padronizado o que fazer nas manutenções. O processo de manutenção é manual na maioria das empresas e, em algumas, semi-automatizado. Os resultados obtidos são predominantemente arquivados em papel. Algumas empresas fazem análise sistêmica de forma insipiente. Praticamente nenhuma empresa possui itens estabelecidos para o controle sistêmico da manutenção. A causa principal dessa realidade é o fato da manutenção ter se envolvido com a rotina de execução, relegando a uma posição secundária as atividades de engenharia.

Cavichioli (2001, GMI/015) apresenta uma série de fatos que conduzem à perda da capacidade produtiva da manutenção feita atualmente entre a

maioria das empresas. Corrobora os problemas apresentados por Smith ao item 2.3 e as análises retroapresentadas.

Somando-se aos fatos e análises referenciadas, a CIGRÉ – Comitê nº 39 (2000, CE-39) elaborou um relatório analítico internacional abrangendo 70 empresas dos cinco continentes sobre práticas de manutenção em sistemas de transmissão.

No item relativo à política de manutenção, explicita as seguintes constatações:

para transformadores, componentes de subestações e proteção, o usual é fazer mais manutenção do que os fabricantes recomendam. Além disso, em geral, companhias pequenas fazem menos manutenção que o recomendado, enquanto para grandes empresas ocorre o oposto, para equipamentos novos faz-se mais manutenção do que o recomendado. O inverso é válido para equipamentos antigos.

Todo o quadro anteriormente exposto tem sua gênese no modelo exaurido de manutenção preventiva da 2ª geração de idéias. Como será visto com bastante detalhe no capítulo 3, o modelo de curva banheira que era o suporte da estrutura preventiva, foi suplantado quando o grupo de trabalho formado pela FAA desenvolveu um programa de confiabilidade para a indústria aeronáutica conforme citado no item 2.4.1.

Mas, contrapondo-se a esta situação, nova consciência e novas práticas, frutos da 3ª geração de idéias, começaram a ser disseminadas no setor elétrico, alicerçadas na manutenção centrada na confiabilidade, qualidade total, incremento das técnicas preditivas e novos modelos organizacionais/gerenciais, como confirmam os exemplos relatados na literatura: Souza (1997, GMA18), Vizzoni (1999, TT048), Paiva (1999, TT051), Costa (1999, TT062), Fonseca (1999, TT009), Pinto (1998, TT071), Junior (1997, GMA09), Tokada (1997, GMA017), Altwegg (1997, GMA19).

Independente deste cenário de mudanças, ocorre entre 1998 e 1999, como citado no exemplo de Capítulo 1, a reestruturação do setor elétrico nacional, sendo imposto um processo de desverticalização, separando os segmentos de geração, transmissão e distribuição. Nesta redefinição dos

agentes do mercado de energia tem-se um ambiente da concorrência nos segmentos de geração e da comercialização de energia elétrica. As empresas de transmissão não são mais responsáveis diretas pelo atendimento mercado, têm de atender a estritos critérios de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, definidos na regulamentação do setor (ANEEL), mas também por obrigações contratuais com Operador Nacional de Sistemas (ONS).

Os critérios são traduzidos em metas e em indicadores de eficiência e qualidade que, associados a penalidades, acarretam conseqüências econômicas sobre a remuneração variável e tarifação aplicada à empresa.

Como conseqüência desta nova situação, impõem-se aos agentes a transmissão, a maximização da disponibilidade de seu sistema.

Este novo modelo embute problemas, como analisado por Coutinho (2001, GAE-012), inclusive concernente à manutenção. Com a extinção do GCOI, em 1999, foi extinto, também, o Subcomitê de Manutenção e seus grupos de trabalho, como a Comissão de Desempenho de Equipamentos (CDE), que centralizava as estatísticas de manutenção em nível nacional.

Verificam-se, então, novos desafios, principalmente o da maximização da disponibilidade dos sistemas de transmissão com o acentuado envelhecimento de seus componentes que superpõe ao da assimilação e desenvolvimento prático das novas idéias da 3^a geração.

Gomes (2001, GMI 007) retrata em sua análise o momento do atual setor elétrico, como foi visto anteriormente. Passa por transformações significativas, onde surgem questões polêmicas quanto à competitividade do mercado e a subestimação da área de manutenção pelo setor elétrico.

Com os recentes blecautes e colapsos no abastecimento de energia, conseqüências dos fatos referendados, acredita-se que as áreas de manutenção passem a ocupar o lugar de destaque, sendo cada vez mais exigidas a responder desafios em epígrafe.

Para isso, não resta dúvida que as atividades de manutenção terão que passar por uma reavaliação de custo/benefício.

2.6.2 Tendências da Manutenção de Sistemas a Nível Mundial

Os Estados Unidos sempre desempenhavam papel de destaque na inovação tecnológica. No campo da manutenção de máquinas, foram os pioneiros na adoção da manutenção preventiva, evoluíram para a preditiva (*condition monitoring*) e ao introduzir tópicos oriundos da engenharia de confiabilidade, geraram a manutenção centrada em confiabilidade. Lançaram as idéias de qualidade e os japoneses as aperfeiçoaram, dando origem ao TQC, TQM, e TPM. Desenvolveram os computadores e implementaram os sistemas de gerenciamento de manutenção computadorizados (CMMS). Inventaram a Internet e aliados a outras técnicas, embasados em forte economia, promoveram a revolução da informação e conhecimento dos nossos dias.

Azevedo (2001, p.14), em seu artigo, faz uma macroanálise sobre duas grandes pesquisas das tendências e estado da arte da manutenção, concluídas nos EUA e Europa. As principais características são:

- A parte européia envolveu mais de 2000 pequenas, médias e grandes empresas, muitas delas *world wide*, enquanto que a norte-americana se apoiou em cerca de 350 indústrias de médio e grande portes.
- Quanto aos setores cobertos existe uma grande variedade de indústrias sondadas e, portanto, representativa da realidade instantânea e evolutiva da manutenção industrial.
- Foram constatadas duas grandes famílias de setores industriais distintos em termos de desempenho de manutenção; na primeira categoria estão aquelas onde os imperativos e/ou estratégias do *business corporate* guiam a introdução de programas de melhoria e implantação de práticas modernas de manutenção. Muitas destas melhorias são exigências impostas por órgãos reguladores externos, como é o caso do setor elétrico; na segunda categoria, a similaridade dos desempenhos se explica bem mais pelo nível de competência e de experiência geral dos profissionais de manutenção envolvidos. Nesta categoria existem setores onde a preocupação em reduzir custos de manutenção está na base do “custe o que custar”, revelando uma incompreensão duradoura da relação entre melhoria de manutenção e melhoria dos *business* da empresa.

- Entre as novas estratégias, tecnologias e metodologias de manutenção que figuram como as mais utilizadas com sucesso, encontram-se: RCM, FMECA, CBM, TPM, OEE, 6 Sigmas, CMMS e EAM.
- Nota-se, também, que as empresas estão cada vez mais atentas em medir o progresso que realizam, não somente com sistemas de informações e de indicadores, mas com auditorias internas e externas orientadas para resultados. A razão básica desta evolução reside no fato de que as mudanças geram impactos cotidianos e assim surge a necessidade de se dispor de uma nova dinâmica de avaliação, limitando os numerosos indicadores que se proliferam nas organizações, mas que comportam medidas estáticas e/ou parciais.
- O aprendizado geral da pesquisa é que os progressos na manutenção não são mais unicamente dos homens de manutenção e sim daqueles que pensam “empresa”. Neste contexto, observou-se que as melhorias mais notáveis vieram das indústrias onde a alta direção se comprometeu e se envolveu na busca de soluções.

Um dos alicerces desta pesquisa são os trabalhos empreendidos pelo EFNMS (2002), em especial o “*EFNMS Working Group Building Maintenance*”, que em 2001 completou o projeto “*Building Maintenance and Environment*”. O principal objetivo deste projeto foi adicionar aspectos ecológicos e econômicos ao processo de manutenção existente ou em desenvolvimento no sentido de salvar o meio ambiente e otimizar os custos operacionais dos sistemas europeus. Foi necessário pesquisar o estado de arte em campos como:

- Manutenção;
- Meio ambiente;
- Padrões relevantes nacionais e internacionais;
- Projetos relevantes nacionais e internacionais; e
- Melhorias práticas em diferentes países da Europa e companhias da Europa e do mundo.

Outra importante referência é o SMRP (2002) dos Estados Unidos. Periodicamente realiza pesquisas entre os sócios membros com a finalidade de avaliar o progresso nos implementos das atividades de manutenção e confiabilidade. Entre 2000 e 2001 foi registrado que os custos de manutenção estão entre 8 e 12% dos custos dos produtos.

Há alguns anos atrás, a melhor prática na maioria das organizações era manutenção reativa para as falhas e preventiva para deixar os equipamentos em boas condições. Hoje o foco mudou para propostas de manutenção preditiva e proativa, tal como manutenção produtiva total e manutenção centrada em confiabilidade. As melhores práticas envolvem condição de monitoramento do equipamento, executando análise dos efeitos dos módulos de falha (FMEA) para determinar a raiz das causas das falhas, com treinamento, e envolvendo os operadores para diminuir os custos relativos aos equipamentos e incremento da produção.

Outro dado importante registrado é que 90% das plantas pesquisadas possuem um sistema de gerenciamento computadorizado e manutenção (CMMS) capaz de gerenciar equipamentos, materiais, trabalhos e dados de custo, de forma a controlar a manutenção sendo ela parte chave da operação global.

O SMRP, a exemplo do EFNMS, fornece uma análise macro do contexto de manutenção, pois abrange organizações que envolvem grande parte dos setores da economia.

Os resultados obtidos nos estudos desenvolvidos anteriormente, são confirmados por referências estritas do setor elétrico Americano, Canadense e Francês: Boman (2002), Goldbeck (2002), Hinchcliffe (2002), Massie (2002), Bravo (2001), Dunn, (2001) e EDF (2002).

As tendências das melhores práticas são importantes orientações, lembrando que a manutenção centrada na confiabilidade surgiu na aviação americana e que a manutenção produtiva total foi desenvolvida na indústria automobilística japonesa.

A introdução da RCM na indústria de energia elétrica americana foi feita pelo EPRI. Em 1996 Douglas apresentou um breve histórico do trabalho e da pesquisa do EPRI para desenvolvimento da RCM em todos os setores de energia elétrica. A RCM foi introduzida inicialmente, em 1984 nas plantas

nucleares, evoluiu até chegar aos setores de distribuição no início da década de 90.

Segundo Kennedy (2002, p.07), a TPM tem sua gênese na indústria automobilística japonesa que surgiu na década de 70. Foi desenvolvida na Nippon Denso, a maior supridora da Toyota, com um elemento necessário do novo sistema de produção da Toyota que incorporava Controle de Qualidade Total (TQC), *Just in Time* (JIT) e Envolvimento Total dos Empregados (TEI).

Por este trabalho, a Nippon Denso recebeu o prêmio PM da JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) em 1971, a partir disso, a metodologia passou a receber a denominação de Manutenção Produtiva Total que se popularizou no Japão na década de 70.

Muitas empresas consolidaram o TPM e o seu reflexo pode ser sentido, principalmente, nos países do Sudoeste Asiático, Austrália, Estados Unidos, Brasil e França, que foram corroboradas pelas referências citadas anteriormente.

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo investigou-se desde a concepção do conceito de manutenção, sua evolução histórica até as suas práticas atuais no Brasil e no mundo.

Constata-se que o caso do setor elétrico brasileiro, em especial, é desafiador. Pratica-se, fundamentalmente, os conceitos da 2ª geração de idéias e, ao mesmo tempo, está inserido num contexto de reestruturação que exige conceitos da 3ª geração de idéias.

Mundialmente duas grandes vertentes de gerenciamento de manutenção se sobressaem: a manutenção centrada na confiabilidade (RCM), com origem nos Estados Unidos e a manutenção produtiva total (TPM) desenvolvida pelo Japão. Outras modalidades metodológicas, originárias destas vertentes, como o CBM (*Conditioned Based Maintenance*) a OEE (*Overall Equipment Efficiency*), etc, quando somadas a estas vertentes principais e associadas com técnicas de CMMS/EAM (*Computerized Maintenance Management System / Enterprise Asset Management*) formam o cenário do mundo atual no contexto de muitas organizações, como exemplos já referenciados da Ontario Hidro

Nuclear Candu (Hinchcliffe, 2000) Eletricité de France (EDF, 2002, Internet), EPRI (Douglas, 1996) entre outras.

A análise de Geraghty (2002, p.01-09) mostra com clareza a distinção entre os objetivos da RCM e da TPM, substanciando a direção do trabalho de Tese.

O TPM é uma iniciativa derivada do TQM, conduzida pelas áreas de manufatura. Ele enfatiza a importância das pessoas, numa filosofia capaz de fazer melhorias contínuas bem como a importância do pessoal de produção e de manutenção trabalharem juntos.

Esta estratégia é apresentada como parte de uma completa filosofia de manufatura. Em essência o TPM procura remodelar a empresa para liberação do seu próprio potencial. Está relacionada com um repensar fundamental dos processos e negócio para obter melhorias no custo, na qualidade, velocidade, etc. Ele encoraja mudanças radicais, tais como:

- estruturas organizacionais mais horizontalizadas (poucos gerentes, equipes capacitadas, etc);
- força de trabalho multi-habilitada; e
- rigorosa avaliação do modo como as coisas são feitas.

O RCM começou dentro da indústria de aviação civil americana. O jumbo, um equipamento imensamente complexo, capaz de transportar centenas de passageiros, a 35.000 pés de altitude, simplesmente, tinha que ser mantido de modo adequado. Isto fez com que as empresas aéreas se empenhassem na geração de um modelo científico para desenvolvimento de filosofia de manutenção e operação (e ultimamente de projetos).

Deste modo, a manutenção centrada em confiabilidade (RCM) é uma metodologia estruturada, na qual se empenha em permitir que um equipamento preencha as funções e os padrões de desempenho pretendidos no seu contexto operacional atual. Desta forma, a RCM parte do equipamento e do que ele deve realizar. Ele então socorre as equipes de operação e manutenção para decidirem quais as rotinas adequadas e necessárias para alcançar tais objetivos.

Em essência tem-se dois objetivos:

- 1) determinar as exigências de manutenção dos bens físicos dentro do seu contexto operacional atual e, então,
- 2) assegurar que estas exigências sejam as mais fáceis de atender, as mais baratas e as mais efetivas possíveis.

O RCM é melhor para alcançar o primeiro objetivo e o TPM está focalizado no segundo objetivo.

Estudos como os de Dunn (2002) e Fleming (1997) corroboram a análise de Geraghty e, ainda, apontam para o que se poderia chamar de 4ª geração de idéias, a fusão entre as vertentes de RCM e TPM, como pode se verificar nas conclusões de Dunn e Fleming, respectivamente :

[...]the Fourth Generation of maintenance will provide, is an integrated approach that pulls together all of the design tools and maintenance tools that exist into an integrated whole. This tool does not yet exist, and so it is not exactly clear what form that approach will take However, it is fair to say that it will include and integrate:

- a formal approach to risk assessment;
- RCM and TPM principles;
- human factors, as applied to the operation and maintenance of the equipment;
- A participate approach to equipment design.

The key to achieve these gains, however, will be that organizations will need to have firmly established themselves in the Third Generation of maintenance.. RCM principles will be at the heart of the Fourth_Generation of maintenance[...] (Dunn, 2001)

[...] A possibilidade de se implantar conjuntamente ambas as metodologias é importante para a indústria de processos na Brasil. Primeiro, porque a implementação de TPM segue a tendência mundial da utilização dos programas de qualidade, hoje indispensáveis ao mercado. Segundo, porque o emprego da RCM evidencia o esgotamento dos modelos tradicionais de planejamento da manutenção

preventiva, que não conseguem acompanhar a busca contínua por uma produtividade maior. O emprego das duas metodologias simultaneamente, é então o caminho certo para se garantir a competitividade no mercado internacional.

Como demonstrado neste trabalho, a maioria dos aspectos fundamentais de TPM e RCM podem ser compatibilizados, no contexto da indústria de processos, por meio de uma interpretação adequada de seus requisitos básicos.[...] (Fleming, 1997)

Alicerçado em observações, exemplos, análises e estudos apresentados neste capítulo, pode-se enumerar algumas conclusões:

1) os modelos de manutenção preventiva de 2ª geração se exauriram e não atendem mais a busca contínua de produtividade;

2) os modelos de 2ª geração de manutenção dicotomizam operação e manutenção, e se estruturam em sistemas de informações que definem estruturas de dados somente para representar como as informações se relacionam são identificadas e manipuladas;

3) os métodos de 3ª geração enfatizam a importância das pessoas, produzindo integração e, com isto, o conhecimento intensivo. Este fato fica bem claro nas exposições respectivas de Smith e Moubray sobre a RCM e o computador:

[...] First, there is no magic software code to do the engineering thinking for us in the RCM process. There could be some RCM Expert Systems sometime in the future to help us with our thinking, but it does not exist today. Second, since the RCM process is a qualitative process, there are no voluminous computations and data manipulations to perform.

So the computer can't play a role in that arena[...] (Smith, 1993, p. 185).

[...] A computer can also be used to sort the proposed tasks by interval and skill set, and to generate a variety of other reports.

However, note that a computer should only ever be used to store and sort RCM information, and perhaps to assist with

the more complex failure-finding interval calculations. For reasons discussed in the chapter 14 computers should never be used to drive RCM process.[...] (Moubray, 1997, p. 211).

4) os sistemas de 3ª geração apesar de propiciar a explicitação de grande parte do conhecimento tácito, como será detalhadamente analisado no capítulo 3 desta tese, ainda o trata como simples sistema de informações, não preparando adequadas bases de conhecimento;

5) existe uma tendência entre os “*experts*,” como passo inicial, que a RCM melhor determinaria as exigências de manutenção dos bens físicos dentro do contexto operacional atual;

6) como o trabalho de tese está centrado, intrinsecamente, no processo de manutenção e não pretende expandir-se a outros aspectos organizacionais, ele se orienta em direção à RCM, como sendo a metodologia de 3ª geração de manutenção mais adequada, num estágio inicial para o desenvolvimento e incorporação do conhecimento intensivo.

CAPÍTULO 3 : A MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (RCM)

Resumo: Neste capítulo analisa-se a manutenção centrada em confiabilidade, desde seu prelúdio até a evolução de nossos dias, seus conceitos básicos, qual a diferença entre programa de RCM e um programa tradicional de manutenção preventiva, sua metodologia e as normas SAE JA1011 e SAE-JA 1012 orientando o padrão metodológico para incorporação do conhecimento.

3.1 INTRODUÇÃO

No capítulo anterior, procurou-se mostrar como o conhecimento intensivo exerce papel crucial nos sistemas de manutenção de 3ª geração, que são alicerçados nas pessoas, produzindo a integração de áreas, e como consequência a explicitação do conhecimento tácito.

Evidenciou-se, também, que para este trabalho de tese a RCM seria a metodologia atual mais indicada, num primeiro estágio, para o desenvolvimento de bases de conhecimento padronizadas.

Neste capítulo detalha-se como ocorreria a explicitação do conhecimento intensivo da RCM, sua forma de tratamento e qual das metodologias de RCM existentes é a mais propícia para o desenvolvimento do padrão metodológico explicitado nos objetivos deste trabalho.

3.2 DO PRELÚDIO À EVOLUÇÃO DOS DIAS ATUAIS

Conforme referenciado no capítulo 2, a estratégia de manutenção a partir da Segunda Guerra foi a preventiva, alicerçada na curva banheira que era utilizada para descrição das características idade-confiabilidade dos equipamentos.

Segundo Geraghty (1999), esta concepção foi levada ao extremo pela indústria de aviação civil (especialmente nos Estados Unidos da América).

Entretanto, a visão de controlar a confiabilidade de aeronaves através do uso de manutenções preventivas confiáveis, mostrou-se infrutífera conforme as reflexões de Nowlan e Heap (apud Geraghty, 1999):

No final dos anos 50, o tamanho das frotas comerciais de aeronaves tinha crescido ao ponto de existirem amplos dados para estudo e o custo das atividades de manutenção preventiva tinham se tornado suficientes altos para garantir a realização de pesquisa dos resultados reais das práticas então existentes. Ao mesmo tempo, a autoridade federal da aviação americana (FAA) estava frustrada pelas experiências as quais mostrava que não era possível controlar a taxa da falha em classes de equipamentos não confiáveis, por quaisquer mudanças possíveis, tanto no conteúdo como na freqüência das revisões programadas. Como resultado em 1960, uma força tarefa foi formada, com representantes da FAA e das companhias aéreas para investigar a capacidade da manutenção preventiva.

Durante este processo destacam-se nomes como Bill Mentzer, Tom Matteson, Stan Nowland e Harold Heap todos da *United Airlines*. Segundo Geraghty (1999, Internet), dentre as muitas conclusões e aprendizados duas foram surpreendentes:

- (I) Revisões programadas têm pouco efeito na confiabilidade total de um equipamento complexo, a menos que exista um modo de falha dominante.
- (II) Existem muitos equipamentos para os quais não há forma efetiva de manutenção programada.

Estas descobertas estão refletidas nas curvas padrões de idade-confiabilidade referenciadas no item 2.4 do Capítulo 2 e detalhadas a seguir conforme Smith (1993, p. 45-46).

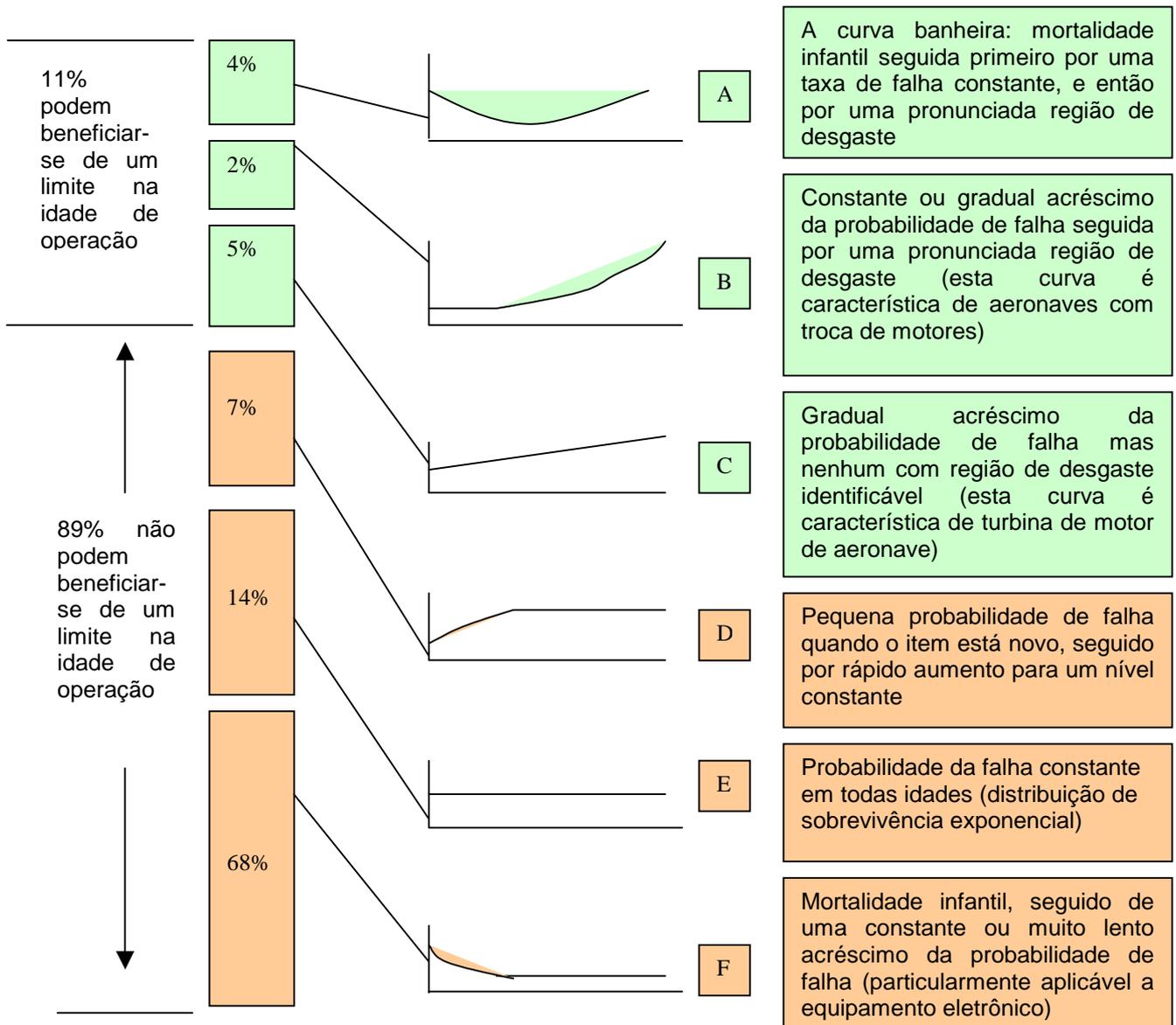
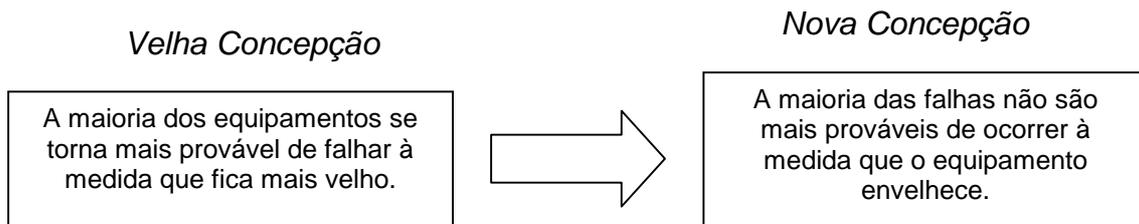


Figura 3.1: Padrões de idade-confiabilidade para equipamentos não estruturais de aeronaves
 Fonte: Smith (1993, p.45)

A Figura 3.1 sintetiza a pesquisa dos padrões de falha da 3ª geração de idéias de manutenção, referenciada no Capítulo 2. Esta investigação revelou que existem seis padrões de falha, e não mais um ou dois, como utilizado anteriormente. Sobre este assunto, Moubray (2001, p.01-04) ao apresentar os novos paradigmas no gerenciamento da manutenção, assim se reportou às falhas:



Por décadas, a sabedoria convencional sugeriu que a melhor maneira de otimizar o desempenho de ativos físicos era de desmontar e revisá-los por completo ou substituí-los a intervalos determinados. Isto era baseado na premissa que há uma relação direta entre quantidade de tempo que um equipamento gasta em serviço e a probabilidade de sua falha, conforme figura abaixo.

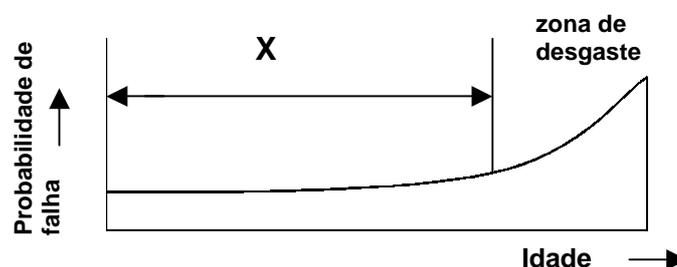


Figura 3.2: Curva idade x probabilidade de falha

O pensamento clássico sustentava que **X** poderia ser determinado a partir de registros histórico sobre falha do equipamento. Este tipo de relacionamento é de fato verdadeiro para alguns modos de falha. Ele tende a ser encontrado onde o equipamento entra em contato com o produto, com por exemplo rotores de bombas, refratários de fornos, ferramentas de máquinas, parafusos transportadores, revestimento de trituradores, etc.

Uma crescente conscientização de “mortalidade infantil” levou à crença generalizada da 2ª Geração, na curva “da banheira”.

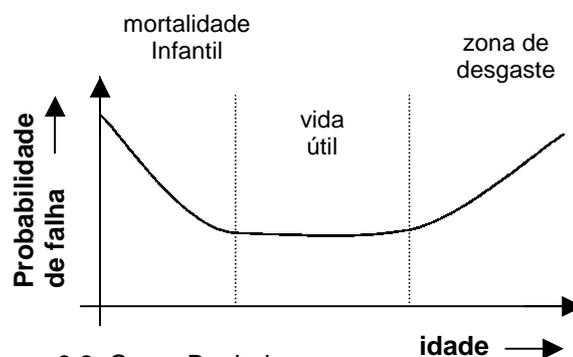


Figura 3.3: Curva Banheira

Esta curva conduziu a manutenção preventiva até a década de 60, onde a maioria das ações preventivas eram dirigidas para revisar o equipamento e deixá-lo como novo, antes de atingir a zona de desgaste.

Estudos realizados com várias centenas de componentes mecânicos, elétricos e estruturais de aeronaves civis e materializados na forma de falhas da Figura 3.1 mostram outra realidade, expressa por Smith (1993, p.46):

- (1) somente um pequeno percentual (4%) atualmente correspondem a curva banheira (curva A).
- (2) mais significativo, somente 6% dos componentes experimentam uma região de desgaste, durante o tempo de vida útil da aeronave (curvas A e B). Especificamente o padrão B caracteriza aeronaves com troca de motores). Acrescentando o padrão C, característica de turbina de aeronaves, tem-se que 11% dos componentes experimentam sintomas de envelhecimento.
- (3) 89% dos componentes nunca apresentam qualquer envelhecimento ou desgaste durante o tempo de vida útil das aeronaves (padrões D, E e F). Especificamente os rolamentos se enquadram no padrão E e os componentes eletrônicos no padrão F.
- (4) 72% dos componentes experimentam o fenômeno de mortalidade infantil (padrões A e F).
- (5) O grupo de maior percentual (68%), começa como curva banheira e nunca atinge a região de envelhecimento (padrão F).

Estas descobertas contradizem a crença de que sempre há uma conexão entre confiabilidade e idade de operações, e nova consciência está se sedimentando, depois de décadas de curva banheira.

Smith ainda prossegue relatando que não foram só estas descobertas o resultado dos esforços dispendidos, mas também empregaram um processo de árvore de decisão para priorizar tarefas de manutenção preventiva que eram necessárias para preservar as funções críticas das aeronaves durante o vôo.

A seqüência deste trabalho foi apresentada em junho de 1967 no Encontro Internacional sobre Operação e Projeto de Aeronaves Comerciais. Nesta oportunidade foram mostradas as lições aprendidas de vários programas de confiabilidade. Em 1968, esta nova técnica de estruturação de manutenção

preventiva foi definida no MSG-1 (*Maintenance Steering Group-1*) para o Boeing 747, sendo aprovado pela FAA.

O MSG-1 foi um sucesso e dois anos depois, como evolução natural da metodologia, foi emitido o MSG-2 para o licenciamento do Lockheed 1011 e Douglas DC-10.

Fonseca, N. (1995, p.30) assim escreve sobre o MSG-1 e MSG-2:

O objetivo principal da metodologia apresentada no MSG-1 e MSG-2 era desenvolver um programa de manutenção preventiva que assegurasse os máximos índices de segurança e confiabilidade com os menores custos possíveis. Como exemplo de benefícios econômicos pode-se citar que o DC-8 requeria, originalmente, 339 itens de revisões gerais, em contraste com o DC-10 onde foram especificados somente 7 itens.

Em 1972, estas idéias foram primeiro aplicados pela United Airlines e pelo DOD (Department of Defense) nas aeronaves P-3 e S-3 da Marinha e no F-4J da Força Aérea. Em 1975, o DOD sugeriu que o conceito do MSG fosse intitulado de "*Reliability-Centered Maintenance*" e aplicado na maioria dos sistemas militares.

Em 1978, a United Airlines produziu o documento referência inicial de RCM (Nowlan, 1978) sob contrato com o DOD.

Em 1980 é lançado o MSG-3 como evolução do MSG-1 e MSG-2, sendo a metodologia para elaboração de um plano de manutenção preventiva baseada em confiabilidade amplamente utilizada pela indústria aeronáutica mundial. Desde a edição de 1980 vem sofrendo constantes revisões para acompanhar os progressos tecnológicos da indústria. Foi aplicada no 757 e 767. Versões direcionadas para o Concorde, Airbus, 737 e várias alterações para aeronaves como 727, expansão do DC-9.

O desenvolvimento da RCM é um processo em constante evolução e, ao longo das últimas décadas, tornou-se um processo maduro principalmente na aviação comercial mundial (MSG-3) e é adotada em todos os armamentos militares e artefatos aeroespaciais americanos conforme referências: (MIL-STD 2173), (NAVAIR 00-25-403), (S9081-AB-GIB-010/MAINT), (MIL-DTD 1629 A), (MIL-STD-1843), NASA (TM 4628 A) entre outras.

O emprego e evolução da RCM especialmente nos sistemas elétricos de potência serão analisados no próximo item.

3.2.1 A RCM e o EPRI

O EPRI (*Electric Power Research Institute*) foi o pioneiro da aplicação de RCM nos sistemas de potência americanos, conforme consta no capítulo 2.

Em 1996, o EPRI publicou na Internet um histórico de seu trabalho e pesquisa sobre RCM intitulado “A Revolução da Manutenção” (Douglas, 1996, Internet), do qual serão destacados alguns pontos:

- A RCM é uma técnica inovadora que substitui as tarefas de manutenção de vários equipamentos de tempo fixo em tarefas com intervalos que dependem da sua condição crítica determinada pela análise de seu desempenho passado.
- O EPRI foi o pioneiro na utilização da RCM, em 1984, nas plantas nucleares e, recentemente, em 1994, nos sistemas de distribuição.
- Aplicando novas tecnologias de diagnóstico está obtendo uma habilidade de monitoria da condição do equipamento e estabelecer um programa de manutenção preditiva (PMP) que permite a utilitária tomar decisões a respeito de manutenção com maior tempo e prevenção de custos devido à falha dos equipamentos.
- Desde 1986, o EPRI tem operado em cooperação com a estação geradora da PECO ENERGY, o *Monitoring & Diagnostic Center*, em Eddystone, Pensilvânia, para avaliar sistemas de diagnósticos que aperfeiçoem a operação e manutenção de plantas fósseis. Foi desenvolvida uma *workstation* que usa uma arquitetura de sistema aberto e recebe informações de várias fontes da planta como vibração, óleo lubrificante, termografia entre outros.
- Em 1994, o EPRI estabeleceu o *Instrumentation & Control Center* em Kingston, Tennessee, para desenvolver novos sensores e sistemas de controle, permitindo que estas tecnologias sejam usadas no controle automático das plantas. A intenção é trabalhar com os fabricantes para desenvolver novos sensores que atendam as

necessidades específicas do setor elétrico e aos integrados nos programas de PMP.

O EPRI tem construído sua experiência com RCM ao longo das últimas décadas, e na atualidade prepara suas filiadas para os rigores da competição RCM, que considera um processo organizado de técnicas de tomada de decisão, muitas vezes referido como manutenção de senso comum.

3.3 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA USANDO MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Este item teve sua fundamentação na referência (NASA TM 4628A, 2002).

Na corrente da 2ª geração de idéias, a manutenção preventiva era realizada nos sistemas sem qualquer consideração de segurança ou custos. A razão principal para o desenvolvimento da RCM foi implementar uma estratégia de manutenção preventiva que poderia adequadamente conduzir à disponibilidade e segurança pelos menores custos possíveis. O processo RCM responde e direciona as decisões de manutenção preventiva para os tipos de questionamentos: o que? onde? quando?

3.3.1 Programa de Manutenção Preventiva Tradicional – sua constituição

Para melhor entendimento dessas estratégias, deve-se primeiro entender um programa de manutenção preventiva tradicional.

Em geral, quando se cria um novo ou se atualiza um programa de manutenção, dois itens de informações essenciais são necessários:

- (1) identificação da tarefa de manutenção a ser executada
- (2) quando cada tarefa deverá ser executada. (veja Figura 3.4)

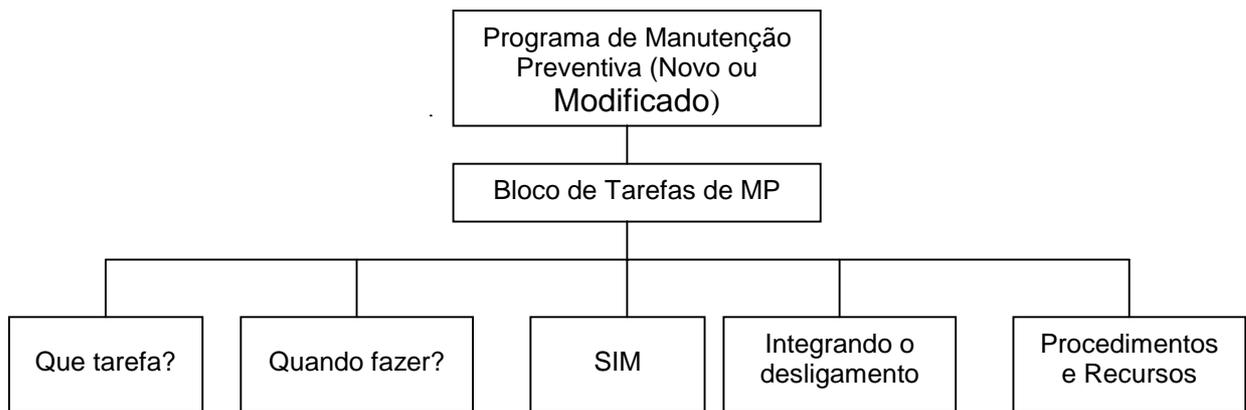


Figura 3.4: Desenvolvendo / Atualizando um Programa de Manutenção Preventiva Tradicional
Adaptado de: NASA TM 4628A (2002)

O método é usado para determinar o quê? Ou se a tarefa é para ser feita da forma:

- (a) dirigida pelo tempo
- (b) dirigida pela condição
- (c) descoberta de falha
- (d) decisão de operar até falhar

O próximo passo é incorporar o programa de manutenção preventiva na infra-estrutura existente e implementá-lo no dia a dia.

Contudo, uma série de perguntas a priori devem ser respondidas. Tipicamente tais questões incluem, entre outras:

- (a) Os procedimentos a serem executados são novos ou são apenas modificações para procedimentos existentes?
- (b) Os materiais padrões estão disponíveis (ferramentas, filtros, etc?)
- (c) É necessário alguma ferramenta ou instrumento especial?
- (d) O número de pessoas disponível é apropriado para conclusão do programa?
- (e) É necessário investimento de capital?
- (f) O novo programa ou atualização afeta a quantidade de peça reserva existente?
- (g) Quanto tempo levará para incorporar o novo programa ou atualização ao sistema de informação gerencial da manutenção (SIM) ?

3.3.2 Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) e seus atributos

Como visto anteriormente, o objetivo da maioria das práticas de manutenções preventivas existentes é preservar a condição do equipamento. Até recentemente, isto era feito sem qualquer questionamento do porquê de certas ações e qual sua prioridade para utilização dos recursos expedidos para manutenção preventiva.

RCM não é outra proposta para realização deste processo repetitivo. Seu conceito básico é realmente simples, podendo ser caracterizado como uma engenharia de senso comum. Existem quatro atributos que definem e caracterizam a RCM colocando-a distinta de qualquer processo de planejamento de MP utilizada atualmente:

1º Atributo: Preserva a função do sistema

Em RCM o foco não é mais o equipamento e sim a função do sistema. Entenda-se função como: “finalidade para a qual um sistema foi desenhado ou projetado ou montado” (Filho, 2000, p.62) ou “função consiste de um verbo, um objeto e um padrão desejável de desempenho” (Moubray, 1997, p.22).

2º Atributo: Identificar os modos de falha que podem provocar a perda das funções

“Modos de falha é a maneira pela qual a falha é observada”. (MIL-STD-1629 A, 2002, p.12). Netherton em seu artigo faz uma extensa análise das possíveis interpretações de modo de falha (Netherton, 2002).

“Modo de falha é qualquer evento que causa uma falha funcional.” (Moubray, 1997, p.53).

3º Atributo: Priorizar as funções necessárias (via modo de falhas)

Na prescrição da função do sistema, RCM fornece uma proposta sistemática para decidir que prioridade deve ser feita com os recursos alocados.

4º Atributo: Selecionar somente tarefas de MP aplicáveis e efetivas.

Os atributos anteriores ajudam no desenvolvimento de um roteiro específico para responder o “onde” e o “porquê” das tarefas de manutenção e suas respectivas prioridades. Cada tarefa potencial deve ser então avaliada com relação à (1) aplicabilidade (prevenir ou mitigar uma falha, detectar o começo de uma falha ou descobrir falha oculta) e (2) efetividade (justificar o gasto de recursos para fazê-la). Se por acaso a tarefa não consegue atender aos testes de aplicabilidade e efetividade então a decisão de operar até falhar deve ser tomada.

Em suma, RCM é uma proposta lógica para manutenção preventiva que não é baseada em qualquer processo heurístico.

3.4 A METODOLOGIA RCM E A NORMA SAE-JA 1011

Como já foi descrito no item 3.2, a RCM (*Reliability-Centered Maintenance*) foi primeiro documentada no relatório escrito por F.S.Nowlan e H.F.Heap e publicado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos em 1978. Este processo serviu de base para vários documentos nos quais o processo de RCM tem sido desenvolvido e refinado ao longo do tempo. Muitos destes documentos mantêm os elementos do processo original, contudo ocorreu uma proliferação do uso do termo RCM e aparecimento de propostas que diferem significativamente da original, com seus proponentes chamando de RCM. Muitos destes processos falham em atingir os objetivos de Nowlan e Heap, de segurança e confiabilidade de seus equipamentos e deturpam a RCM.

Devido a este fato, houve o crescimento de demanda internacional para padronização de um conjunto de critérios, para que um processo pudesse ser chamado de RCM.

Então, em agosto de 1999 a SAE (*Society Automotive Engineers*) dos Estados Unidos, publicou a SAE-JA 1011 intitulada “*Evaluation Criteria for a Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*”. Este documento descreve os critérios mínimos que qualquer processo possa ser chamado de RCM, porém não define qualquer processo específico de RCM.

3.4.1 Critérios mínimos de um processo RCM

Alicerçados na norma SAE-JA 1011 (1999, p.07-10) e em Gerenciamento da Manutenção (MOUBRAY, 2001, p.15-17), apresentam-se, a seguir, os critérios mínimos de um processo RCM:

I - RCM: As sete questões básicas

O processo RCM implica em sete perguntas sobre os ativos ou sistemas sob análise, como se segue:

- a) Quais são as funções associadas e os padrões de desempenho associados do ativo no seu contexto operacional atual (funções)?
- b) De que forma ele falha em cumprir suas funções (falhas funcionais)?
- c) O que causa cada falha funcional (modos de falha)?
- d) O que acontece quando ocorre cada falha (efeitos de falha)?
- e) De que forma cada falha tem importância (conseqüência das falhas)?
- f) O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha (tarefas pró-ativas e tarefas preventivas)?
- g) O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa adequada (ações *default*)?

II - Funções e Padrões de Desempenho

O primeiro passo no processo RCM é definir as funções de cada ativo no contexto operacional junto com os padrões de desempenho desejados. Estas funções podem ser divididas em duas categorias:

- *Funções primárias*: são aquelas que resumem porque os ativos foram adquiridos em primeiro lugar. Elas cobrem questões como velocidade, quantidade, capacidade de transporte ou armazenagem, qualidade do produto e serviços ao cliente.
- *Funções secundárias*: são aquelas que reconhecem o que é esperado todo ativo fazer, mais que simplesmente preencher suas funções primárias. Elas cobrem as expectativas em áreas como: segurança, controle, conforto, proteção, contenção, integridade

estrutural, economia, conformidade com os regulamentos ambientais e até a aparência do ativo.

III - Falhas Funcionais

As falhas conduzem à paralisação total ou parcial das funções requeridas para os ativos, obrigando à manutenção adotar uma abordagem adequada para a gerência da falha. O processo RCM faz isso em dois níveis:

- primeiramente, identificar que circunstâncias resultam em um estado de falha
- em segundo lugar, perguntar que eventos podem levar o ativo a um estado de falha

Estados de falha são conhecidos como falhas funcionais porque elas ocorrem quando um ativo está incapaz de preencher a função em um padrão de desempenho que é aceitável para o usuário.

IV - Modos de falha

Após a identificação de cada falha funcional, o próximo passo é identificar todos os eventos que são razoavelmente prováveis de causar cada estado de falha. Estes eventos são conhecidos como modo de falha.

A maioria das listas de modos de falha incorporam falhas causadas por deterioração ou desgaste normal, devem incluir falhas causadas por erros humanos, falhas de projeto, assim como todas as prováveis causas que possam ser identificadas e tratadas apropriadamente. É importante a identificação da causa da falha de forma detalhada com a finalidade de se identificar a política mais adequada de seu gerenciamento.

V - Efeitos da falha

O quarto passo no processo RCM implica em listar os efeitos da falha, os quais descrevem o que acontece quando ocorre cada modo de falha. Estas descrições devem incluir todas as informações necessárias para suportar a avaliação da consequência da falha, tais como:

- a) Qual a evidência (se existe alguma) de que ocorreu a falha
- b) De que modo (se existe algum) ela é uma ameaça à segurança ou ao meio ambiente

- c) De que modo (se existe algum) ela afeta a produção ou operação
- d) Qual o dano físico (se existe algum) é causado pela falha
- e) O que deve ser feito para restaurar a função do sistema após a falha

VI - Categorias de Conseqüência de falha

O processo RCM classifica essas conseqüências em quatro grupos, como segue:

- Conseqüências de Falhas Ocultas – As falhas ocultas não têm impacto direto, mas expõem a empresa a falhas múltiplas com conseqüências sérias, freqüentemente catastróficas.
- Conseqüências sobre Segurança e Meio-Ambiente – Uma falha tem conseqüência sobre a segurança se ela puder ferir ou matar alguém. Ela tem conseqüências sobre o meio-ambiente se vier a violar qualquer padrão ambiental, da empresa, regional ou federal.
- Conseqüências Operacionais: Uma falha tem conseqüências operacionais se ela afeta a produção (quantidade, qualidade do produto, serviço ao cliente ou custos operacionais, além do custo direto do reparo).
- Conseqüências não-operacionais: Falhas evidentes que se enquadram nesta categoria não afetam a segurança nem a produção, portanto envolvem apenas o custo direto do reparo.

VII - Técnicas de Gerenciamento de Falhas

As técnicas de gerenciamento de falhas são divididas em duas categorias:

- tarefas pró-ativas: são tarefas empreendidas antes de uma falha ocorrer, de modo a prevenir o item de entrar em um estado de falha. Elas abrangem o que é tradicionalmente conhecido como manutenção preditiva e preventiva, embora o RCM use o termo restauração programada, descarte programado e manutenção sob condição.
- tarefas default: são tarefas que tratam o estado de falha e são escolhidas quando não é possível identificar uma tarefa pró-ativa efetiva. Ações default incluem busca da falha, reprojeto e rodar até falhar.

Um exame mais detalhado das tarefas pró-ativas e default encontra-se na norma SAE-JA1011 p. 08-09.

VIII - Programa Dinâmico

Uma revisão periódica é necessária para que o programa de gerenciamento de ativos derivado da RCM assegure que os ativos continuem a preencher as expectativas funcionais correntes de proprietários e usuários.

3.5 NORMA SAE-JA 1012 – DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA USADA COMO REFERÊNCIA PARA INCORPORAÇÃO DO CONHECIMENTO INTENSIVO

Conforme comentado no item 3.4, com a proliferação de propostas de RCM, inclusive com deturpação dos objetivos de Nowlan e Heap, implicou no aparecimento da Norma SAE-JA 1011.

Os processos e conceitos intrínsecos desta norma foram estruturados em três documentos fundamentais:

- (1) O livro “*Reliability-Centered Maintenance*” de Nowlan e Heap de 1978.
- (2) A norma MIL-STD-2173 (AS) da aviação naval dos Estados Unidos
- (3) O livro “*Reliability-Centered Maintenance*” (RCM2) por John Moubray, 1997.

Estes documentos foram julgados ser os mais aceitos e os mais usados de RCM disponíveis (SAE, JA1011, p.01). Complementando este contexto, a Sociedade Automotiva Americana publicou em janeiro de 2002 a norma SAE-JA1012 intitulada “*A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard*”.

Esta norma tem a finalidade de ampliar e clarear cada um dos critérios listados na SAE-JA1011 e apresentar sumários adicionais para se aplicar RCM com sucesso.

Adicionando-se a este fato, a RCM2 de Moubray enfatiza detalhadamente o grupo que deve aplicar o processo de RCM, não explicitamente citado na JA1012 cuja característica não foi desenvolvida pelas referências anteriores ou por outros desenvolvedores de RCM como Smith (1993), August (1999) e Sanford (1999, p.11-14), por exemplo. Este ponto é de extrema importância sob a ótica do conhecimento, pois a estruturação de um grupo desta ordem

constitui-se numa poderosa ferramenta de eliciação do conhecimento, superpondo-se a diversas técnicas existentes.

A título de elucidação apresenta a seguir uma parte da constituição deste grupo de análise, extraído de Moubray (1997, p.18):

discutiu-se anteriormente a necessidade de envolver o pessoal de chão de fábrica e o pessoal de operação no processo de formulação de estratégia de manutenção. Isto porque o pessoal de manutenção simplesmente não pode responder por si todas as perguntas. Ao contrário, muitas dessas respostas podem ser fornecidas apenas pela equipe de operação. Isso aplica-se especialmente a questões relativas a funções, desempenho desejado, efeitos de falhas e conseqüências de falhas.

Por esta razão, o processo de RCM deve ser aplicado por equipes pequenas que incluam pessoal de manutenção e operação. A antigüidade dos membros do grupo é menos importante que o conhecimento completo que eles devem ter do item em análise.

A composição de um grupo de revisão RCM típico é mostrado na Figura 3.5

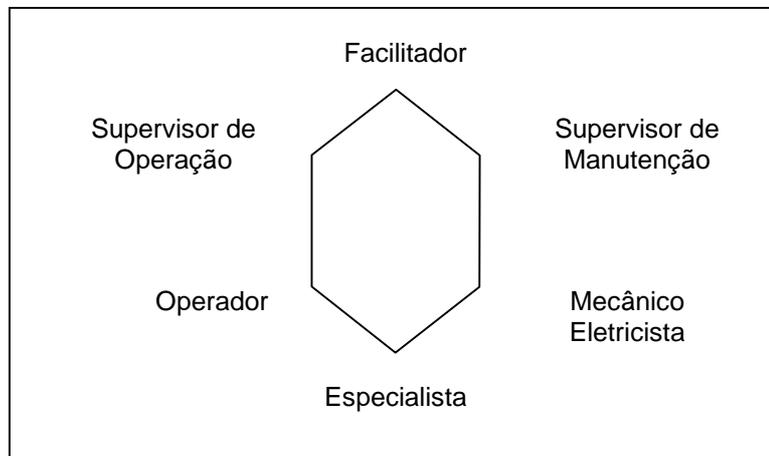


Figura 3.5: Grupo de revisão de RCM
Fonte: Moubray (1997, p.18)

A utilização desses grupos não apenas permite que o gerenciamento obtenha acesso ao conhecimento e à especialização de cada membro do grupo de forma sistemática, mas também os próprios membros passam a ter um entendimento grandemente enriquecido do ativo em seu contexto operacional.

Facilitadores

Os grupos de análise RCM trabalham sob orientação de especialistas altamente treinados em RCM, conhecidos como facilitadores.

Somando-se ao grupo de análise de RCM proposto, a RCM2 ainda utiliza para cada parte do processo planilhas bastante minuciosas onde são registradas todas as conclusões dos especialistas, sob a orientação do facilitador e estruturada no consenso.

A eliciação do conhecimento é um tópico de extrema importância no desenvolvimento dos sistemas de conhecimento, conforme será analisado no capítulo 5 desta tese.

Todo este procedimento apresentado constitui-se num eficaz processo de aquisição de conhecimento, propiciando a estruturação de importantes bases de conhecimento.

Na atualidade todo este importante conteúdo ainda é tratado pelos desenvolvedores de RCM como base de dados que alimentam sistemas de informações, conforme referenciado no capítulo 2.

Baseando-se nestes fatos pode-se concluir que as diretrizes das normas mencionadas, como os grupos desenvolvedores de RCM, como apresentado por Moubray, sejam referências para o processo de incorporação do conhecimento intensivo proposto neste trabalho.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou a evolução do processo de RCM desde seu prelúdio até os dias atuais.

Mostrou-se, também, como desenvolver as estratégias de manutenção preventiva usando manutenção centrada em confiabilidade, conduzindo a uma forma científica e racional de fazer manutenção. Com a proliferação deste novo modo de pensar “manutenção”, cresceu a demanda internacional para padronização de um conjunto de critérios que pudesse ser chamado de RCM; com isto apareceram as normas SAE-JA 1011 e SAE-JA1012.

Um dos suportes destas normas é o processo RCM2 desenvolvido por Moubray que apresenta também um minucioso sistema de aquisição de

conhecimento estruturado em grupos de análise bem definidos. Estas características permitem a conclusão apresentada no item anterior, de que as normas SAE e o processo de RCM2 sejam as referências para a metodologia proposta no capítulo 6.

CAPÍTULO 4: A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO NO CONTEXTO DA MANUTENÇÃO

Resumo: Neste capítulo analisa-se:

- A informatização da Manutenção
 - O desenvolvimento da IA (Inteligência Artificial) no contexto da Manutenção
 - A emergência da engenharia do conhecimento a partir dos sistemas especialistas
 - Sistemas de Conhecimento de 2ª geração aplicados na RCM
-

4.1 INTRODUÇÃO

O objetivo principal deste capítulo é mostrar como sistemas de conhecimento de 2ª geração teriam condições de tratar, adequadamente, do ponto de vista de Modelagem computacional, o conhecimento globalizado da RCM (Manutenção Centrada em Confiabilidade), resultante de várias engenharias.

Preliminarmente, enfatiza-se que os sistemas tradicionais de software existentes acabam transformando as tarefas de conhecimento intensivo da RCM em simples tarefas de processamento de dados e que os sistemas especialistas atuais também não lograriam êxito em virtude de suas desvantagens analisadas ao longo do capítulo.

4.2 A INFORMATIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO

O desenvolvimento dos computadores influenciou em muito a manutenção. Um sumário deste desenvolvimento é apresentado no Quadro 4.1 a seguir:

GERAÇÃO	ANOS	CIRCUITOS	CARACTERIZADO POR:
Primeira	Década de 50	Válvula a vácuo	Difícil de programar: utilizava apenas linguagem de máquina. Criação do UNIVAC, IBM 701, IBM 650.
Segunda	Início dos anos 60	Transistor	Mais fácil de programar (linguagem de alto nível); podia trabalhar com máquinas de tabulação comerciais; mais barato. IBM1401, IBM1360. Apareceu FORTRAN, Cobol.
Terceira	Meados dos anos 60 até meados dos anos 70	Circuitos Integrados (SSI, MSI, LSI) (chips)	Compartilhamento de Tempo, minicomputador.
Quarta	Meados dos anos 70 até dias atuais	VLSI e o micro processador	Computador pessoal; interface gráfica de usuário; redes locais, Internet.

Quadro 4.1: Desenvolvimento dos Computadores
 Fonte: adaptado de Meyer (2000, p.40)

A interação da Manutenção com sua evolução pode ser demarcada nos seguintes períodos, segundo Tavares (2002):

A partir dos anos 60

Com a difusão dos computadores, a área de manutenção passou a utilizar métodos de planejamento e controle de manutenção automatizados, reduzindo os encargos burocráticos dos executantes de manutenção. Esta atividade implicou em novas setorizações como: área de estudos de ocorrências, área de planejamento de controle entre outras.

A partir dos anos 80

Com o desenvolvimento dos microcomputadores a custos reduzidos e linguagem simples, os órgãos de manutenção tiveram opção de se desenvolver e processar seus próprios programas, eliminando os inconvenientes da dependência de disponibilidade humana e de equipamentos, para o atendimento às suas prioridades de processamento das informações pelo computador central, além das dificuldades de comunicação na transmissão de suas necessidades para o analista de sistemas, nem sempre familiarizados com a área de manutenção.

A partir dos anos 90

Com as exigências do aumento de qualidade dos produtos e serviços pelos consumidores, a manutenção passou por grandes aprimoramentos na sua gestão. Passou a ser um elemento importante no desempenho dos equipamentos em grau de importância aos já praticados na operação, começando a fazer parte do planejamento estratégico das empresas onde informatização é a condição para existir em mercados competitivos. Este quadro gerou enorme profusão de software e o aparecimento e desenvolvimento de empresas especializadas em software para manutenção.

Na atualidade, a título de facilidade e compreensão, podem ser identificadas três linhas de convergência de softwares de manutenção, baseado nas classificações de Lacerda (1997, TT064).

- **Softwares de gestão:** com módulos para gerenciamento de mão-de-obra, materiais, controle de custos, emissão de relatórios gerenciais e outras facilidades de tomadas de decisão. Enquadram-se na linha de gestão empresarial de ativos (*EAM- Enterprise Asset Management*) e gestão da manutenção (*CMMS - Computerized Maintenance Management Software*).
- **Softwares específicos ou especializados:** enquadram-se neste bloco, softwares de manutenção específica por equipamento, por fabricante, normalmente envolvendo diagnósticos. Engloba também os sistemas especialistas em franca ascendência, bem como softwares específicos empregando outras técnicas de inteligência artificial.
- **Softwares de apoio:** enquadram-se neste bloco todos os outros softwares que não forem de gestão ou específicos.

É possível um software apresentar características de mais de uma convergência, principalmente se tiver sido desenvolvido modularmente, como no caso de um sistema de gestão, que tenha módulo para movimentação e outro de sistema especialista.

O enquadramento de um software dar-se-á pela convergência dominante.

Atualmente existe uma ampla gama de softwares de manutenção sendo comercializados, oferecendo soluções em função do produto, tecnologia, mercado e estratégia das diversas empresas. Este mercado, segundo Tavares (2002), representou, em 1997, mais de 900 milhões de dólares de faturamento, dos quais 56,6% na América do Norte, 27,5% na Europa, 10,3% na Ásia e Oceania e 5,7% na América Latina.

O SMRP (2002) dos Estados Unidos, em sua última pesquisa, registrou entre 2000 e 2001, que 90% das plantas pesquisadas têm um Sistema de Gerenciamento Computadorizado de Manutenção (CMMS) para gerenciar equipamento, material de trabalho e dados de custo, de forma a gerenciar a manutenção como a chave da operação total.

Os softwares CMMS mais comumente usados são: MÁXIMO (18%), SAP (13%), MP2 (13%) e o WOMANS (5,3%). O MP2 é o mais extensivamente usado em pequenas plantas, enquanto o SAP é largamente usado em grandes plantas.

A análise do SMRP também indica que, apesar dos CMMS fornecerem um sistema de facilidades e estrutura de informações para integração das melhores práticas no processo de manutenção, só alcançam sucesso na sua utilização, em organizações comprometidas com planos estratégicos de longo prazo. Caso contrário, o CMMS cai em desuso e somente 23% das plantas planejam e programam todas suas atividades de manutenção de sistema. Uma análise mais detalhada do problema pode ser encontrada em Dunn (2001).

No Brasil, a oferta de softwares de gerenciamento da manutenção é grande e atende a uma variada gama de requisitos, porém ainda é substancial o desconhecimento das potencialidades da área de softwares especializados, segundo atesta MyQ. (1999, p.31).

A seguir apresentam-se alguns softwares especializados de gerência de manutenção mais difundidos:

<i>FABRICANTE</i>	<i>SOFTWARE</i>
Datastream (SP)	MP5, MP2Enterprise, MP2Professional, Maintainit
Protam Eng. de Manutenção (SP)	Coswin
SAM SERVICE (SP)	MAC ACTIVE (FULL) e LITE
ASTREIN Informática (SP)	SIM
Maximiza Consultoria Sistema (SC)	Sadege
MiDS Sistemas (SP)	Máximo
SPES Eng. De Sistemas	SMI

Quadro 4.2: Softwares mais difundidos
 Fonte: MyQ, (1999, p.31) e MyQ (2000, p.34-35).

Nos sistemas de potência brasileiro, a grande maioria dos softwares de gestão específicos são desenvolvidos nas próprias empresas.

A ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção) realiza, periodicamente, um levantamento estatístico de índices, a exemplo do SMRP dos Estados Unidos, intitulado “Documento Nacional: A Situação da Manutenção no Brasil”.

– No Documento Nacional de 1995, podem ser destacados:

- o percentual de 90% de carência de treinamento;
- aplicação de recursos de manutenção em 32,8% para corretiva e 18,65% de preditiva
- 12,7% não monitoram equipamentos, 47,6% fazem monitoração manual, 29,1% fazem monitoramento com coletor de dados e softwares e 10,6% fazem monitoramento on-line;

– No Documento Nacional de 1997:

- em 74% das empresas existem programas de treinamento para o pessoal de manutenção;
- aplicação de recursos de manutenção em 25,53% para corretiva e 18,54% de preditiva;
- ferramentas utilizadas para controle da qualidade: RCM (2,53%), 5S (40,51%), CCQ (10,63%), IPM (16,20%) e outras (17,72%);

- 10,17% não monitoram equipamentos, 30,51% fazem monitoramento manual, 50,85% fazem monitorização com coletor de dados e software;
- 10,17% fazem monitoramento automático on-line.

– No Documento Nacional de 2001:

Conforme apresentado no capítulo 2, o custo da manutenção em relação ao faturamento das empresas continuava representando parcela significativa do PIB brasileiro fornecido pela FGV:

- 2001: 4,47%-US \$ 26,0 bilhões
- 1999: 3,56%-US \$ 27,6 bilhões
- 1997: 4,39%-US \$34,0 bilhões
- 1995: 4,26%-US \$ 23,1 bilhões
- Média: 4,2% do PIB. US \$ 28 bilhões

Comparando-se com a análise do SMRP americano, atualmente custos de manutenção está na ordem de 9 a 15% das vendas e em outra estatística na ordem de 8 a 12% do custo dos produtos destas empresas.

Estes dados são importantes para se ter uma idéia do desafio que as empresas ainda devem enfrentar para sua informatização e conseqüente automação de procedimentos de manutenção.

Há ainda muito por fazer na integração da manutenção com outros setores da organização, no desenvolvimento de técnicas preditivas, entre outras, e todas estas mudanças acompanhadas da evolução das técnicas de computação em termos de Inteligência Artificial, redes de computadores e internet. Um pequeno ensaio deste contexto pode ser visto em Lacerda (1997, TT064).

4.2.1 A Inteligência Artificial no Contexto da Manutenção

4.2.1.1 O que é IA?

Inserida no contexto computacional, a Inteligência Artificial (IA), segundo análise de Barreto (1998, p.04) nasceu em 1956 na conferência histórica de

Dartmouth, New Hampshire. Este encontro foi também o primeiro entre os quatro pesquisadores de IA nos Estados Unidos durante duas décadas: McCarthy, Minsky, Newell e Simon. Deste encontro nasceram os dois paradigmas da inteligência artificial: simbólica e conexionista, e uma definição de IA atribuída a John McCarthy, como sendo o campo da Ciência da Computação que se dedica ao estudo e modelagem da inteligência humana.

Na IAS (Inteligência Artificial Simbólica) o comportamento inteligente global é simulado, sem considerar os mecanismos responsáveis por este comportamento. Na IAC (Inteligência Artificial Conexionista) acredita-se que construindo máquina que imite a estrutura do cérebro ela apresentará inteligência. (Barreto, 1998, p.04)

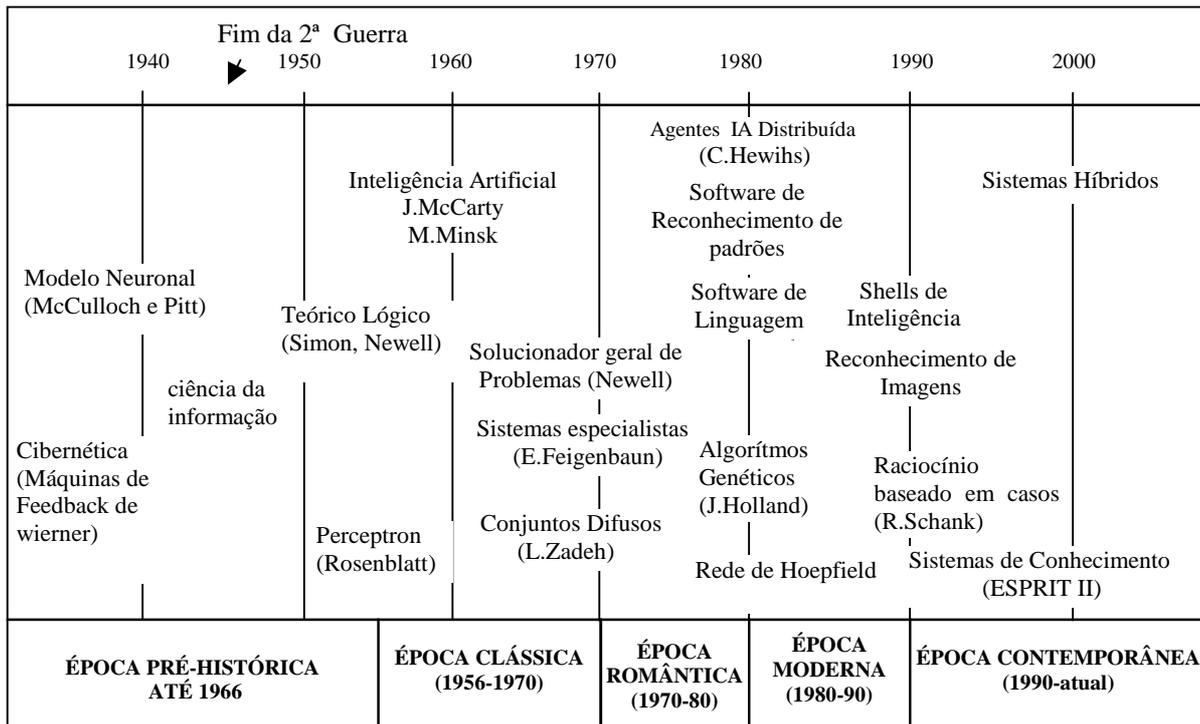
Progressivamente as duas correntes separam-se e só se reencontraram a partir do final da década de 80.

Muito se evoluiu desde Dartmouth e, na atualidade, existe uma diversificação expressiva de disciplinas de IA, conforme pode-se constatar no quadro evolutivo da IA (Quadro 4.3) e pelas referências que servem de exemplos, a seguir:

I) Medsker (1995, p.298) analisa a contribuição da IA, em que os sistemas inteligentes tendem a utilizar, sempre que necessário, várias filosofias e tecnologias diferentes como Redes Neurais, Lógica Fuzzy, Algoritmos Genéticos, Raciocínio Baseado em Casos, Multimídia, Agentes, Técnicas de busca e filtragem para Data Mining e Sistemas Especialistas.

II) Brooks (1999) explica o objetivo intelectual do laboratório de IA do MIT, que é entender como trabalha a mente humana.

Acredita-se que a visão, robótica e linguagem são as chaves para entendimento da inteligência, e neste sentido o laboratório do MIT faz mais investimentos do que muitos laboratórios de Inteligência Artificial. As linhas de pesquisa são:



Quadro 4.3: Evolução da IA

A divisão em épocas foi adaptação de Barreto (1998, p.05-06)

- Aprendizagem
- Inteligência Artificial
- Gestão de Informação
- Visão Médica
- Visão Geral
- Visão Aplicada a Pessoas & Atividades
- Robótica Medica
- Arquitetura Cognitiva
- Linguagem
- Novos Modelos de Computação

III) Laudon (1999, p.329) discorre sobre a Inteligência Artificial mostrando que ela não é um fenômeno isolado, mas uma família de atividades por vezes relacionadas, em que cada uma busca capturar algum aspecto da inteligência dos seres humanos e de seu modo de ver. Os cientistas da computação, engenheiros eletrônicos, psicólogos, lingüistas, fisiologistas e biólogos estão envolvidos nesta busca, que os leva a pesquisar a linguagem

natural, a robótica, os sistemas perceptivos, os sistemas especialistas, as redes neurais e o software inteligente.

IV) Simpósio patrocinado pela AAAI – Associação Americana de IA objetivou mostrar a relevância das técnicas de IA em manutenção de equipamentos, evidenciando áreas como:

- planejamento da manutenção;
- planejamento de ações corretivas;
- agentes inteligentes via internet para tarefas de monitoração;
- máquina de aprendizado para reconhecer e classificar novos comportamento do sistema, entre outras (AIES, 1999);

V) O quarto evento da Conferência Internacional de Aplicação de Sistemas Inteligentes em Sistemas de Potência. Esta conferência é dedicada para aplicação de técnicas de sistemas inteligentes, como redes neurais artificiais, sistemas *fuzzy*, algoritmos genéticos, raciocínios baseado em casos, sistemas de conhecimento e outras técnicas, no desenvolvimento de novos aplicativos a serem utilizados nas diversas áreas dos sistemas de potência, incluindo desde de projeto, planejamento, operação, manutenção até o equipamento elétrico propriamente dito (ISAP, 1999).

VI) Conferência Internacional de Inteligência Artificial patrocinada pelo IEEE dos Estados Unidos fomenta o desenvolvimento de técnicas de IA em diversos segmentos: como Engenharia Elétrica, Engenharia Eletrônica, Telecomunicações, processos industriais, medicina e entre outros (IEEE AIS, 2002).

Muitas outras referências poderiam ser citadas, porém, em síntese, o objetivo da IA segundo Bittencourt (1998, p.15):

“É a criação de modelos para a inteligência e a construção de sistemas computacionais baseados nesses modelos. O caráter dual deste objetivo levou, naturalmente, a pesquisa e o desenvolvimento em IA e cristalizaram-se em torno de três tipos de atividades:

- Desenvolvimento de modelos para a inteligência humana, tema da ciência cognitiva (psicologia computacional);
- Desenvolvimento de aplicações educacionais, comerciais ou industriais utilizando técnicas de IA.

- Desenvolvimento de técnicas computacionais que apresentem potencial para a simulação de comportamento inteligente.”

4.2.1.2 A IA na Manutenção e Sistema de Potência

Na Manutenção, os primeiros exemplos mais conhecidos de aplicabilidade de IA ficam por conta do setor da Aviação, conforme Botelho (1991, p.08). Uma publicação de Richardson, 1985, intitulada “*Artificial Intelligence in Maintenance*”, pelo Instituto de Denver, da Universidade do Colorado, EUA, relaciona uma série de trabalhos desenvolvidos pelo segmento militar industrial e comercial da aviação norte-americana envolvendo sistemas especialistas.

A partir deste ponto até os dias atuais de 2002, houve uma ampla profusão de pesquisas, trabalhos e centros desenvolvedores de técnicas de IA tanto em Manutenção quanto em Sistemas de Potência. Grande parte deste esforço concentraram-se, entre outros exemplos, em institutos como o IEEE dos EUA, IEE do Japão, EPRI dos EUA; de associações como o AAI dos EUA; conferências como CIGRÉ, ISAP e IEEE-AIS; no Brasil como o SNPTEE, ELARC E ABRAMAN.

Desta profusão ficou evidenciado que as técnicas de IA mais difundidas em sistemas de manutenção e em especial sistemas de potência são:

- . sistemas especialistas
- . redes neurais
- . algoritmos genéticos
- . agentes inteligentes

Neste trabalho não se diferenciou aplicação de IA em manutenção e operação, pois RCM analisa função e não o equipamento propriamente dito, ela só tem sentido quando integrada com a operação.

Especificamente, a CBM (Condition Based Maintenance) apresenta um campo promissor para aplicação das técnicas de IA, em que se destacam na atualidade sistemas especialistas e redes neurais.

As referências ajudam a corroborar as constatações em epígrafe e apontam também tendências para tempos futuros:

1. Botelho (1991) revela esforços de aplicação de IA no processo decisório para análise de falha de aviões da Força Aérea Brasileira. Neste trabalho, destacaram-se entre outros benefícios da aplicação de sistemas especialistas no gerenciamento da manutenção como: redução de erros de diagnósticos, melhoria na tecnologia de treinamento com sistemas tutorais e a otimização do manuseio da informação técnica da manutenção.

2. Lin (1992, p.1141-1147) apresenta um sistema especialista baseado em conhecimento para auxiliar na tomada de decisão da manutenção programada de gerador na Taiwan Power Company.

3. Tomsovic (1994, p.363-370) sugere vários métodos para extração de informações de dados de teste para monitoração da condição de equipamento usando conjuntos fuzzy e redes neurais artificiais.

4. Archon (1998, p.01-03) O projeto Archon é um dos principais projetos de inteligência artificial distribuída, podendo ser usado em domínios industriais reais. Atualmente empregado em concessionária na Espanha para gerenciamento de transporte de energia.

5. Ribeiro (1995, ELARC) utilização de sistema especialista no restabelecimento inteligente de subestações.

6. Tiburcio (1995, GrupoX) avalia o estado operativo de sistemas de potência, sua segurança e quais ações são adequadas para intensificar esta segurança empregando redes neurais.

7. Martino (1995, grupo XIII) apresenta diagnóstico de transformadores de potência utilizando redes neurais.

8. Belchior (1995, p.219-233) desenvolvimento de sistema especialista para diagnóstico de motores diesel visando manutenção preditiva.

9. Kobaccy (1995, p.831-853) apresenta uma proposta de sistema de suporte à decisão inteligente para avaliação e desenvolvimento de rotinas de manutenção aplicadas a grandes sistemas técnico e complexo. A concepção deste trabalho foi a incorporação de uma base de conhecimento (regras de produção) que permite ao DSS (Decision Support System), baseado em computador, selecionar entre bases de modelos de políticas de manutenção, qual a mais adequada a ser empregada aos dados de um determinado contexto

10. Lacerda (1997, TT064) analisa a informatização integrada da manutenção industrial com a manufatura e aplicações de sistemas especialistas na manutenção.

11. AIES (1999) – 1999 AAAI Spring Symposium on AI in Equipment Maintenance Service. Uma Referência para IA aplicada na manutenção de equipamentos das seguintes áreas: indústria automotiva, aeronaves, turbinas a gás, bombas, inclusive projeto para a mantenabilidade.

Técnicas de IA exploradas: Clustering, sistemas especialistas, redes neurais, redes bayesianas, redes de crença, raciocínio baseado em casos, entre outros.

12. Reis (2000, p.102-107) discute sistemas especialistas para diagnósticos de máquinas e manutenção baseada em condição, seu desenvolvimento nos laboratórios das universidades americanas, sua aplicação na indústria e reconstrução de softwares no Japão.

13. Hiyama (2002) apresenta um survey de 1991 a 1999 sobre a aplicação de sistemas fuzzy em sistemas de potência no Japão, e detalhando sua aplicabilidade em cada área de um sistema de potência com indicação de dezenas de referências bibliográficas a nível mundial.

14. SNPTEE (2001) 16º Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (aplicações) de IA em trabalhos do: Grupo VIII – Grupo de estudo de subestação e equipamentos elétricos – GSE:.

- novos dispositivos inteligentes em antigas subestações;
- critérios para aplicação de sistemas especialistas para diagnóstico de falhas em equipamento de subestações;
- técnicas de sistemas inteligentes (redes neurais/lógica fuzzy) aplicadas na identificação do envelhecimento de transformadores;
- monitoramento e sistema especialista para diagnóstico de equipamentos de subestações; e
- reconhecimento de defeitos em equipamentos elétricos de alta tensão utilizando a Teoria Fractal e as Redes Neurais Artificiais.

15. AANN (2002) reúne um *pool* de dezenas de autores que apresentam aplicações de redes neurais, algoritmos genéticos e lógica *fuzzy* em sistema de potência. Envolvem trabalhos apresentados entre 1993 a 1995 em fóruns como o ISAP 94, CIGRE, IEEE dos EUA e IEE do Japão;

16. ARL (2002) apresenta os trabalhos desenvolvidos pelo departamento de Manutenção Baseada na Condição (CBM) da Pennsylvania State University, na pesquisa aplicada em tecnologia CBM relativas à diagnósticos de componentes rotativos, plataformas de sistemas bélicos e redes de máquinas, empregando sistemas inteligentes (redes neurais, processamento de sinal, etc).

4.3 A ENGENHARIA DE CONHECIMENTO COMO DISCIPLINA EMERGENTE DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS

A raízes dos sistemas especialistas estão alicerçadas em muitas disciplinas, uma das maiores é a área do processamento humano de informações, chamado ciência cognitiva.

Cognição é o estudo de como os humanos processam informações, em outras palavras, é o estudo de como os humanos pensam, especialmente quando resolvem problemas.

O estudo da cognição é importante quando se quer fazer os computadores emularem os especialistas humanos.

O Quadro 4.4 apresenta um breve sumário de alguns importantes desenvolvimentos que resultaram nos sistemas atuais.

Na considerada era clássica, um dos projetos mais ambiciosos foi o desenvolvimento do GPS (General Problem Solver), programa criado por Newell e Simon com o objetivo de resolver problemas em geral.

Um dos mais significativos resultados demonstrados por Newell e Simon era o de que a maioria das resoluções dos problemas humanos ou cognição poderia ser expresso por regras de produção do tipo *IF-THEN*. A regra correspondia a uma pequena coleção modular de conhecimento chamado bloco (chunk).

Exemplo: Se o carro “não dá partida” e o ponteiro do combustível indica “vazio”, então encha o tanque.

Os dois autores popularizaram o uso das regras para representar o conhecimento humano e mostraram como o raciocínio podia ser feito através de regras.

ANO	EVENTO
1943	Post production rules: McCulloch and Pitts Neuron Model
1954	Markov Algorithm for controlling rule execution
1956	Dartmouth Conference: Logic Theorist: Heuristic Search: "AI " term coined
1957	Perceptron invented by Rosenblatt .GPS (General Problem Solver) started (Newell, Shaw and Simon)
1958	LISP AI language (McCarthy)
1962	Rosenblatt's Principles of Neurodynamics on Perceptions
1965	Resolution Method of automatic theorem proving (Robinson) Fuzzy Logic for reasoning about fuzzy objects (Zadeh) Work begun on DENDRAL the first expert system (Feigenbaum, Buchanan, et. al.)
1968	Semantic nets, associative memory model (Quillian)
1969	MACSYMA math expert system (Martin and Moses)
1970	Work begins on PROLOG (Colmerauer, Roussel, et al.)
1971	HEARSAY I for speech recognition Human Problem Solving popularizes rules (Newell and Simon)
1973	MYCIN expert system for medical diagnosis (Shortliffe.et. al.) Leading to GUIDON, intelligent tutoring (Clancey) and TEIRESIAS, explanation facility concept (Davis) and EMYCIN, first shell (Van Melle Shortliffe and Buchanan) HEARSAY II. Black board model of multiple cooperating experts.
1975	Frames, knowledge representation (Minsky)
1976	AM (Artificial Mathematician) creative discovery of math concepts (Lenat) Dempster-Shafer Theory of Evidence for reasoning under uncertainty Work begun on PROSPECTOR expert system for mineral exploration (Duda, Hart.et. al.)
1977	OPS expert system shell (Forgy), used in XCON/RI
1978	Work started on XCON/RI (McDermott. DEC) to configure DEC computer systems Meta-DENDRAL. Meta rules and induction (Buchanan)
1979	Rete Algorithm for fast pattern matching (Forgy) Commercialization of AI begins Inference Corp. formed (releases ART expert system tool in 1985)
1980	Symbolics. LMI founded to manufacture LISP machines
1982	SMP math expert system: Hopfield Neural Net; Japanese Fifth Generation Project to develop Intelligent computers.
1983	KEE expert system tool (IntelliCorp)
1985	CLIPS expert system tool (NASA) Emergence of structured methods. Early KADS (project ESPRIT) – second generation of knowledge Systems.
1995	Mature methodologies: CommonKADS, Protégé and others.

Quadro 4.4 - Alguns eventos importantes na história dos sistemas de conhecimento
Fonte: Adaptado de GIARRATANO (1994, p.12).

A idéia básica, de como era feito o processamento humano, consiste na entrada sensorial que estimula o cérebro. O estímulo dispara regras apropriadas da memória de longo prazo, as quais produzem respostas adequadas.

Modelo Cognitivo

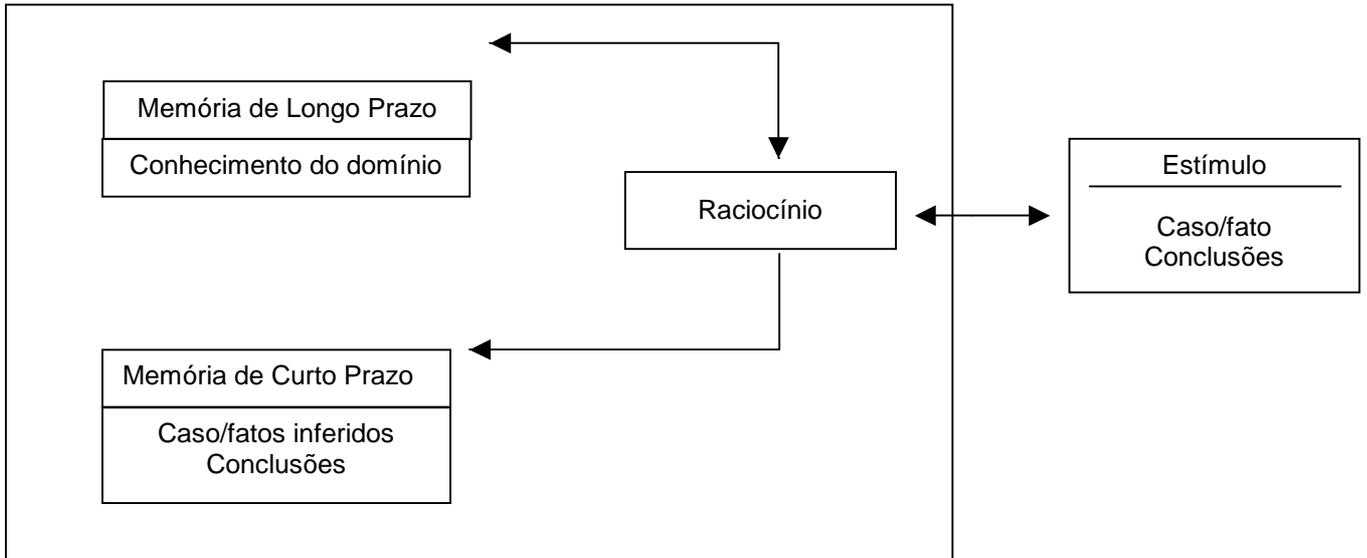


Figura 4.1: Solucionando problema humano
 Fonte: Adaptado de DURKIN (1994, p.27).

Memória de longo prazo - Acumulador de conhecimento;

Memória de curto prazo - Acumulador temporário de conhecimento durante a solução do problema; e

Processador cognitivo - Procurador das regras que serão ativadas pelo estímulo apropriado.

Até meados dos anos 60, a maioria das utilizações consistia em produzir sistemas inteligentes com pequenos domínios de conhecimento e poderosos métodos de raciocínio em áreas muito diversificadas. Porém, o GPS mostrou sua debilidade para problemas complexos não demonstrando o mesmo desempenho dos especialistas humanos.

Com o nascer dos anos 70 e, principalmente, balizado pela elaboração do programa *DENDRAL*, cujo desenvolvimento começou em 1965 na Universidade de Stanford por solicitação da *NASA*, tornou-se claro que o conhecimento do domínio era a chave para a construção das máquinas solucionadoras de problemas, as quais poderiam funcionar no nível dos especialistas humanos. Embora os métodos de raciocínio fossem importantes, os estudos mostravam que os especialistas utilizavam inicialmente um vasto conhecimento de heurísticas e experiências que acumulavam ao longo dos anos. A habilidade de raciocínio de um especialista não é, geralmente, melhor

do que uma pessoa mediana na resolução de um problema não familiar. Tal percepção conduziu os pesquisadores de Stanford a introduzir tais heurísticas no *DENDRAL* e obter um programa que operava tão bem quanto um especialista humano.

Esta ênfase no conhecimento levou Ed Feigenbaum, um dos idealizadores de *DENDRAL*, a reivindicar: 1) “no conhecimento reside o poder” e 2) “o processo de construção de tais sistemas deveria ser a Engenharia de Conhecimento”. E, também, conduziu para o paradigma do sistema baseado no conhecimento ou sistema especialista (Durkin, 1994, p.06).

Com aceitação deste paradigma, muitos sistemas de sucesso foram construídos, entre eles: *DENDRAL* (podia interpretar espectômetros de massa para identificar constituintes químicos); *MYCIN* (diagnóstico de doenças), *DIPMETER* (análise de dados geológicos para petróleo); *PROSPECTOR* (para análise de minerais), *XCON/R1* (para configuração de computadores), entre outros.

Este foi o ramo da IA que nasceu na década de 50 como um estudo do processamento humano da informação e que, agora, crescera para atingir o sucesso comercial pelo desenvolvimento de problemas práticos do mundo real.

No final dos anos 70, três conceitos eram convergentes para a maioria dos sistemas desenvolvidos: as regras, a *Shell* e o conhecimento.

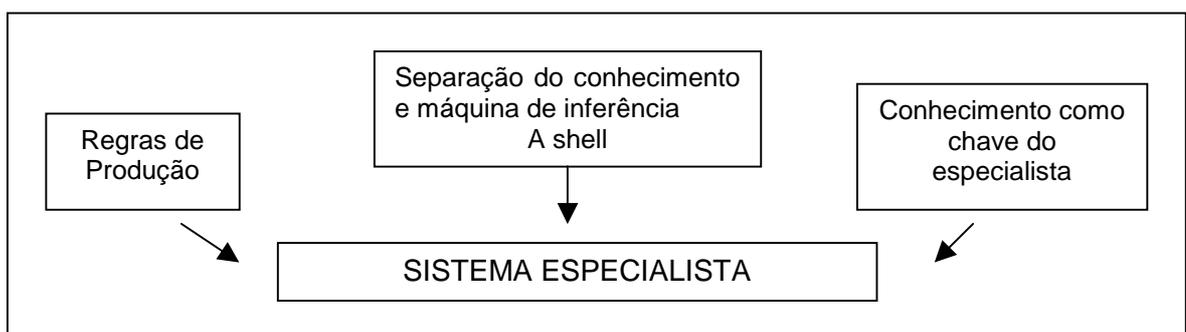


Figura 4.2: Convergência de três fatores importantes para criar os sistemas especialistas baseado em regras.

Fonte: Adaptado de GIARRATANO (1994, p.16)

Até meados dos anos 80, o campo foi dominado pelos sistemas baseados em regras. Contudo, a partir do final dos anos 80, identificou-se um eixo com direção aos sistemas orientados a objetos. (Sistemas especialistas baseados em frames com técnicas oriundas da programação orientada à

objetos). Frames é uma estrutura de dados, proposta por Minski (1975), para codificar conceitos numa informação típica computacional.

As idéias apresentadas até aqui corresponderam à primeira geração de sistemas de conhecimento, conforme esquema abaixo:

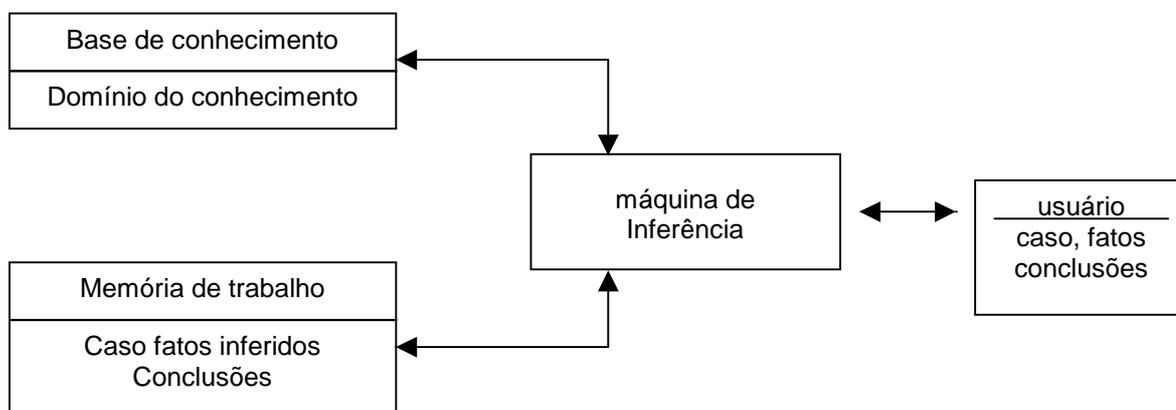


Figura 4.3: Sistema especialista de 1ª geração
Fonte : adaptado de (Durkin, 1994, p.28)

A máquina de inferência interagindo numa base de conhecimento, usualmente regras de produção.

Clancey (1985) mostrou em sua análise do Mycin, que a base de conhecimento escondia várias e importantes propriedades do processo de raciocínio e da estrutura do conhecimento no domínio de aplicação. Certas regras, ou partes das regras, que preenchem certos papéis no processo de raciocínio, ficam implícitas na organização do sistema de conhecimento, prejudicando-o em termos de aquisição, refinamento e reutilização.

Este problema não é específico do sistema de conhecimento, ocorre também na área de representação do conhecimento. Tais fatos também ficaram evidentes no trabalho de Brachman (apud Schreiber, 2002).

Ocorreu na época uma variedade de opiniões e explicações, que convergiram para o AAAI80, quando Newell apresentou a “hipótese do nível de conhecimento”. (SCHREIBER, 2002).

Esta hipótese tinha por propósito realizar a descrição de um sistema inteligente em termos de seu comportamento racional, independente de sua representação simbólica, em regras, frames ou lógica (o nível simbólico).

Durante os anos 80, esta idéia conduziu à pesquisa da engenharia do conhecimento para resolver os problemas mencionados. O objetivo do modelo

do nível de conhecimento de um sistema de conhecimento é fazer a organização do conhecimento um sistema explícito. Surgiu, então, o movimento da 2ª geração de sistemas de conhecimento.

Muito se pesquisou e se desenvolveu até os dias atuais, culminando em sistemas de conhecimento como o CommonKADS, terminado em 1995, fruto de um expressivo investimento europeu, o projeto ESPRIT. Este sistema sintetiza os últimos avanços em análise de sistemas, orientação a objetos, gerenciamento da informação, entre outras disciplinas. Permite apreender, então, o conhecimento de qualquer área de uma organização, inclusive o gerencial, na forma de tarefas de conhecimento intensivo. Constituído de uma série de módulos, o conhecimento representado em várias camadas ou níveis, será o objeto de análise do próximo capítulo desta tese.

4.4 A ENGENHARIA DO CONHECIMENTO E A RCM – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões, análises e observações desenvolvidas nos capítulos e itens anteriores permitem ressaltar os seguintes pontos:

I – A manutenção de sistemas, em especial sistemas de potência, não obedece a uma padronização de procedimentos. Existem, na atualidade, à sua disposição, novos modelos de gestão, ferramentas de qualidade, novos métodos e inovações tecnológicas com enfoques principais diferentes;

II – A RCM é um método científico de realizar manutenção e está centrada no elemento humano, em que no estabelecimento das tarefas de manutenção, o computador é simplesmente usado para armazenar e ordenar o conteúdo gerado durante a análise de RCM. Possui um poderoso sistema de aquisição de conhecimento, tanto explícito, como tácito, em que uma tarefa estabelecida pode possuir um conhecimento intensivo integrado de várias especialidades, conforme figura 4.4: área elétrica(EE), mecânica(EM), econômica(EEc), de confiabilidade(EC), produção(EP) e gerencial(G).

A Figura 4.4 a seguir sintetiza a concepção:

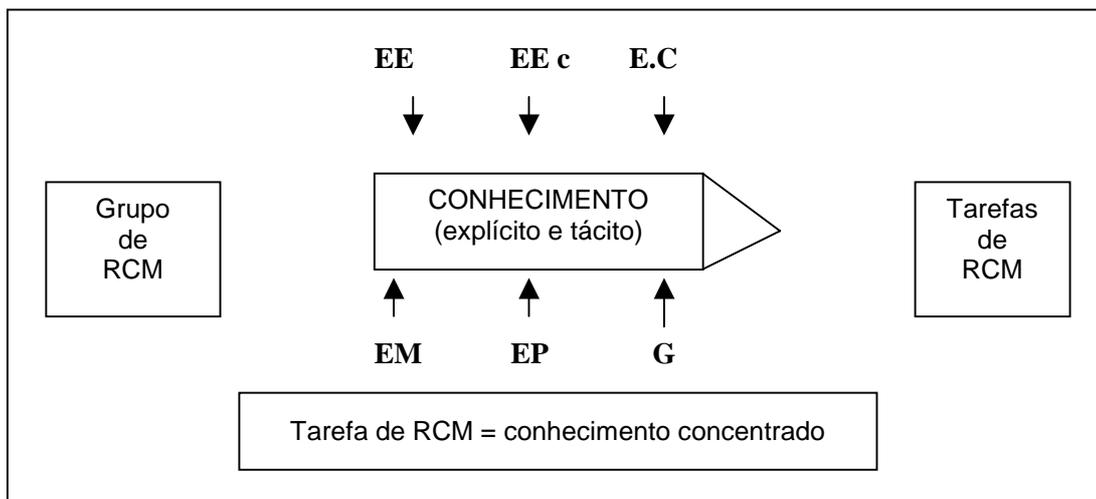


Figura 4.4: Conhecimento x RCM

Após o estabelecimento das tarefas de RCM, elas são integradas aos planos de manutenção existentes e transformadas em rotina.

III – As técnicas de IA empregadas na manutenção de sistemas, em especial sistemas de potência, são de abordagens limitadas e ficam restritas a domínios específicos. São enfatizadas, principalmente, para manutenções preditivas, em forma de sistemas especialistas, redes neurais e lógica *fuzzy*.

IV – A emergência dos sistemas de conhecimento de 2ª geração, conforme citado no item anterior, permite apreender o conhecimento de qualquer área da organização na forma de tarefas de conhecimento intensivo, sendo representado em camadas ou níveis conforme Figura 4.5 a seguir. Permite significativa flexibilização e facilidade de tratamento do conhecimento, sendo por exemplo, o CommonKADS desenvolvido no seio do projeto ESPRIT da comunidade Européia, com proposta de ser sistema padrão para o Leste Europeu.

Existem, na atualidade, milhares de sistemas na internet com estudos, pesquisas e aplicabilidade deste sistema de conhecimento nas mais diversificadas áreas do conhecimento e setores da economia mundial;

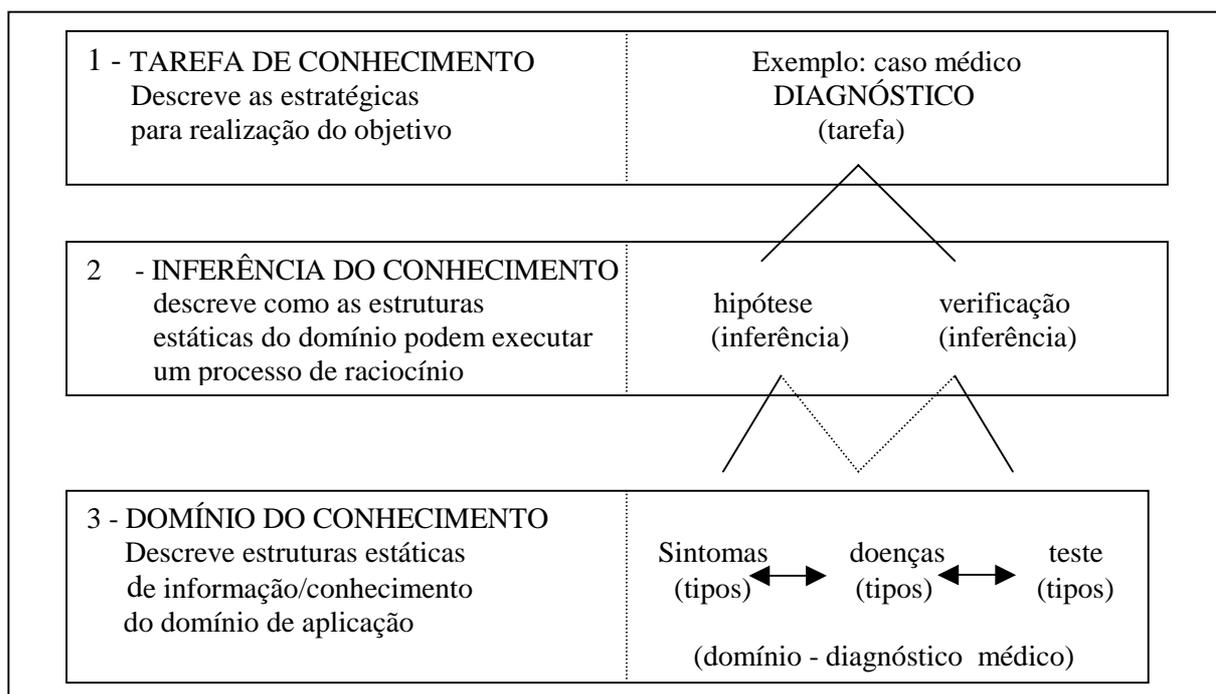


FIGURA 4.5: MODELO DE CONHECIMENTO POR NÍVEIS.

Fonte: Wielinga (2000, p.90)

V - As empresas buscam novas estruturas de organização, em que a proposta de Prax (apud Angeloni, 2002, p.18), conforme citado no capítulo 1, enfatiza o aspecto tecnológico e comunicacional das organizações.

Uma empresa voltada ao conhecimento emerge da interação entre três dimensões: a dimensão do homem e seu conhecimento; a dimensão da empresa e o conhecimento organizacional; a dimensão de novas tecnologia e a engenharia do conhecimento coletivo.

Nos últimos anos, a relevância do conhecimento tem levado à formação da área de Gestão do Conhecimento. Segundo Angeloni (2002, p.158), esta gestão:

é entendida como um conjunto de atividades responsáveis por criar, armazenar, disseminar e utilizar eficientemente o conhecimento na organização, atentando para o aspecto estratégico, tão evidente e necessário no ambiente empresarial moderno.

Um exemplo pode servir de referência para este novo tipo de gestão, consiste no trabalho apresentado por Parrila (2001, TT 113) no 11º Congresso

Ibero – Americano de Manutenção de Setembro de 2001, em que se descreve a gestão compartilhada entre manutenção e produção na Votorantin Celulose e Papel, que alcançou significativo sucesso.

Os pontos ressaltados têm por objetivo conduzir as seguintes considerações:

1º) o conhecimento é fundamental para os processos de manutenções atuais, principalmente, para RCM, conforme foi possível mostrar ao longo dos capítulos 2, 3 e 4.

Existe ainda na área de manutenção/operação uma compreensão inadequada dos conceitos de dados, informação e conhecimento, que em muitas vezes são tratados como sinônimos.

Segundo análise de Akkermans e constante em Wielinga (2000, p.3-5), estes conceitos podem assim ser interpretados:

(1) DADO: são sinais não interpretáveis que atingem os nossos sentidos, podendo ser entendidos como a matéria-prima básica da informação e do conhecimento

(2) INFORMAÇÃO: é composta por dados organizados, dispostos numa estrutura específica. Pode se considerar como dados que possuem algum significado

(3) CONHECIMENTO: é o resultado da interpretação da informação e de sua utilização para algum fim, especificamente para gerar novas idéias, resolver problemas ou tomar decisões. Pode-se distinguir dois aspectos distintos do conhecimento:

- senso de objetividade: transforma informação em ação
- produtor de novas informações: transforma informação em novas informações.

(4) CONHECIMENTO INTENSIVO: refere-se ao conhecimento cujo domínio é de grande abrangência.

Além de o conhecimento ser fundamental para os processos de manutenção, ele pode ser classificado em dois tipos segundo análise de Nonaka (1997, p. XIII):

Um é o **conhecimento explícito** que pode se articulado na forma de linguagem , inclusive em afirmações gramaticais, expressões matemáticas, especificações, manuais e assim por diante. Este conhecimento pode ser então transmitido formal e facilmente entre os indivíduos.

O outro é o **conhecimento tácito**, difícil de ser articulado na forma de linguagem , é um tipo de conhecimento mais importante. É o conhecimento pessoal incorporado à experiência individual e envolve fatores intangíveis como, por exemplo, crenças pessoais, perspectivas e sistemas de valor.

A criação do conhecimento em RCM ocorre em três níveis: do indivíduo, do grupo e da organização. As formas de interação entre o conhecimento tácito e o explícito e entre o indivíduo e a organização ou grupo, realizarão quatro processos principais da conversão do conhecimento, que juntos constituem a criação do conhecimento, conforme estudos de Nonaka (1997, p.68-82):

(a) Socialização: Do conhecimento Tácito em Conhecimento Tácito (conhecimento compartilhado).

A socialização é um processo de compartilhamento de experiências, resultando modelos ou habilidades técnicas compartilhadas.

(b) Externalização: Do Conhecimento Tácito em Conhecimento Explícito (Conhecimento Conceitual).

A Externalização é um processo de articulação do conhecimento tácito em conceitos explícitos. É a criação do conhecimento perfeito, na medida que o conhecimento tácito se torna explícito, expresso na forma de metáforas, analogias, conceitos, hipóteses ou modelos.

(c) **Combinação:** Do Conhecimento Explícito em Conhecimento Explícito (conhecimento sistêmico)

A combinação é um processo de sistematização de conceitos em um sistema de conhecimento através de meios como documentos, reuniões, conversas ao telefone ou rede de comunicação computadorizadas.

(d) **Internalização:** Do Conhecimento Explícito em Conhecimento Tácito (Conhecimento Operacional)

A internalização é o processo de incorporação do conhecimento explícito no conhecimento tácito. Está intimamente relacionado ao “aprender fazendo”, quando são internalizadas nas bases de conhecimento tácito dos indivíduos sob a forma de modelos mentais ou *know-how* técnico compartilhado.

O processo da criação do conhecimento em RCM e seus conteúdos podem ser sintetizados nas figuras abaixo:



Figura 4.6: Espiral do Conhecimento (transformação do conhecimento)
Fonte: Nonaka (1997, p.80)

	Conhecimento Tácito	em	Conhecimento Explícito
Conhecimento Tácito do	(Socialização) Conhecimento Compartilhado		(Externalização) Conhecimento Conceitual
Conhecimento Explícito	(Internalização) Conhecimento Operacional		(Combinação) Conhecimento Sistêmico

Figura 4.7 - Conteúdo do Conhecimento criado pelos quatro modos
Fonte: Nonaka (1997, p.81)

A RCM possui na sua concepção um dos métodos mais completos de aquisição de conhecimento, conforme análise do capítulo 3.

As tarefas de RCM são conhecimentos convertidos, majoritariamente conceituais. Conforme visto anteriormente dependem dos conhecimentos tácitos das pessoas, daí a importância da formação do grupo de RCM.

Os conhecimentos tácitos são os mais difíceis de aquisição, porém num grupo de RCM, isto é, enormemente, facilitado.

2º) O conhecimento não é tratado adequadamente pela manutenção, a exemplo do processo de RCM.

No item 4.2 deste capítulo, falava-se o quanto ainda há de ser desenvolvido pela manutenção em termos de integração e todas as mudanças acompanhadas da evolução das técnicas computacionais, desde das práticas convencionais, inteligência artificial e internet.

A exemplo da RCM posterior ao estabelecimento das tarefas adequadas para resolução dos problemas, elas são incorporadas aos programas de manutenção existentes, virando rotina dos sistemas de dados existentes, em que tarefas de conhecimento intensivo vem sendo manipulados como simples processamento de dados. O que falta à RCM é um gerenciamento adequado do seu conhecimento.

3º) É possível aplicar uma metodologia de gestão do conhecimento na manutenção, principalmente na RCM devido à natureza do problema.

O processamento de dados executados pelos softwares tradicionais, adicionados ao emprego de técnicas de IA, normalmente empregadas em áreas de domínio restrito, como os sistemas especialistas, não logram êxito quando aplicados em estruturas de conhecimento intensivo e baseado no elemento humano, como é o caso da RCM.

A relevância da criação do conhecimento no processo de RCM propicia seu direcionamento para a Gestão do Conhecimento, cujo conceito foi apresentado na página 98 deste trabalho.

Segundo Davenport (apud Angeloni, 2000, p.158), alguns princípios são fundamentais à compreensão da gestão do conhecimento nas organizações, tais como:

- o conhecimento reside e é originado na cabeça das pessoas;
- o desenvolvimento da confiança, estímulos e recompensas são pressupostos para o compartilhamento do conhecimento;
- a tecnologia possibilita novos comportamentos ligados ao conhecimento;
- o conhecimento é criativo e deve ser estimulado a se desenvolver de formas inesperadas.

Dentre esses princípios, destacam-se o papel da tecnologia como suporte à gestão do conhecimento e suas funções básicas de captação, armazenamento e disseminação do conhecimento, tendo em vista a sua utilização de forma estratégica e racional por todos os colaboradores da empresa.

Neste ponto pode-se propor uma abordagem para a gestão do conhecimento em RCM na forma de uma metodologia com cinco atividades distintas, baseado em KOL (2000):

De forma sintética, esta metodologia pode ser discretizada em:

Fase 1 - atividades de mapeamento do conhecimento e as habilidades dentro da empresa;

Fase 2 - atividades de explicitação do conhecimento utilizado na solução dos problemas;

Fase 3 - atividades de utilização de uma base de conhecimento customizada para armazenar, indexar e recuperar o conhecimento explicitado;

Fase 4 - utilização do conteúdo da base de conhecimento para publicação de necessidades específicas, como por exemplo: manuais, suporte ao usuário e sites na internet; e

Fase 5 - atividades de suporte e treinamento auxiliando a empresa a tornar explícito o conhecimento de forma colaborativa e continuada.

Com relação às fases 1 e 2, a sistemática utilizada pela RCM é insubstituível. É uma parte estritamente do elemento humano.

Com relação às fases 3 e 4, novas tecnologias, como sistemas de conhecimento de 2ª geração, a exemplo do CommonKADS, seriam de alta eficácia, principalmente pela sua modelagem. Poderiam ser criadas inovadoras e explícitas bases de conhecimento de RCM padronizadas por cases, inclusive melhorando a reutilização do conhecimento para casos semelhantes.

Um dos objetivos desta tese é modelar este tipo de base para RCM, incorporando, desta forma, nas tarefas seus conhecimentos do domínio. Sem estas ferramentas de última geração, o tratamento do conhecimento ficava comprometido e restrito a domínios específicos e engessantes como dos sistemas especialistas.

Com relação à fase 5, é um desenvolvimento híbrido: elemento humano e técnica computacional.

A grande missão da gestão do conhecimento é tornar conhecido o saber referente aos produtos, processos e tecnologia da empresa, nos níveis necessários para resolução dos problemas, pela explicitação do conhecimento de forma colaborativa e continuada.

A forma simbólica da aplicação da metodologia de gestão do conhecimento à RCM é sintetizada na figura abaixo:

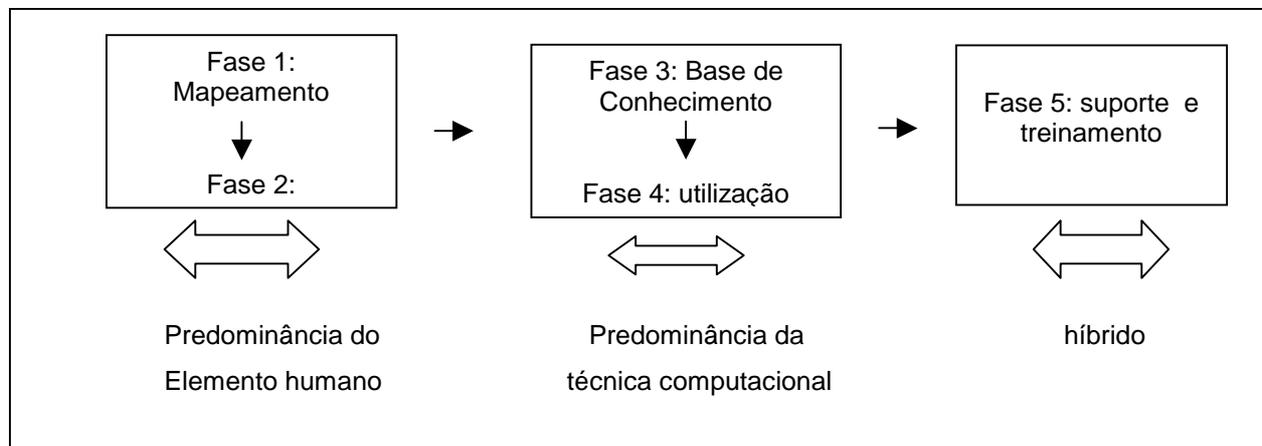


Figura 4.8: Aplicação da metodologia de gestão do conhecimento à RCM

CAPÍTULO 5: A ENGENHARIA DO CONHECIMENTO E O SISTEMA COMMONKADS

Resumo: Neste capítulo analisa-se:

- A Engenharia do Conhecimento, com seus princípios e método de modelagem estruturados no nível de conhecimento de Newell.
 - As metodologias atuais de construção de sistemas de conhecimento.
 - A metodologia CommonKADS: sua aplicabilidade, seus modelos, a ênfase do modelo de conhecimento, bem como sua interação com outras disciplinas.
 - O Modelo de conhecimento do CommonKADS como padrão para incorporação de conhecimento intensivo nas tarefas de RCM.
-

5.1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é responder à questão comentada no primeiro capítulo, se alguma metodologia de gestão e Engenharia do Conhecimento existente já foi utilizada no tratamento de conhecimento intensivo em contextos semelhantes à manutenção ou em problemas típicos desta área.

A pesquisa ao longo do capítulo procurou mostrar como o sistema CommonKADS, desenvolvido no âmbito do projeto ESPRIT e considerado um padrão europeu tem características e aplicabilidade ao tratamento do conhecimento intensivo da manutenção em especial a RCM.

5.2 ENGENHARIA DO CONHECIMENTO: PRINCÍPIOS E MÉTODOS

Conforme referenciado no capítulo anterior, a Engenharia do Conhecimento teve este nome reivindicado por Ed Feigenbaum, um dos idealizadores do DENDRAL (Durkin, 1994, p.06), conduzindo ao paradigma do sistema baseado no conhecimento (SBC) ou sistema especialista.

Até o início dos anos 80, o desenvolvimento de um SBC era visto como um processo de transferência do conhecimento humano para uma base de conhecimento implementada. A transferência está baseada no fato de que o conhecimento requerido pelo SBC existe, deve ser coletado e implementado.

Este conhecimento requerido era obtido pela entrevista com os especialistas, explicitando como eles resolviam tarefas específicas (Musen, 1993).

Esta necessidade fomentou o desenvolvimento da área de aquisição de conhecimento, que estrutura o processo de levantamento de requisitos no desenvolvimento de sistemas especialistas.

Tipicamente este conhecimento era implementado com algum tipo de regra de produção, executada por um interpretador de regra associado. Contudo, por razões já analisadas, Newell apresentou no AAAI80 a hipótese do nível de conhecimento (Schereiber, 1992, p.02). Esta idéia atraiu considerável atenção e estimulou nova linha de pesquisa, conduzindo a mudança de paradigma dos SBC's da proposta de transferência para a chamada proposta de modelagem. Esta mudança caracterizou a transferência dos sistemas especialistas de 1ª geração aos sistemas especialistas de 2ª geração (Benjamins, 1998, p.162).

Os frameworks de modelagem da atualidade como CommonKADS (2002), Protégé-II (2002) e MIKE (apud Benjamins, 1998, p.162), entre outros, foram influenciados por dois importantes trabalhos, que foram desenvolvidos no final dos anos 80: o Generic Tasks (Chandrasekaran) e Role Limiting Methods (apud Benjamins, 1998, p.162), que foram baseados no trabalho de Clancey, quando fez sua análise do Mycin como a "*heuristic, classification problem solver*" (Clancey, 1985, p.289-350).

A Figura 5.1 a seguir apresenta de forma sumarizada a evolução da Engenharia do Conhecimento:

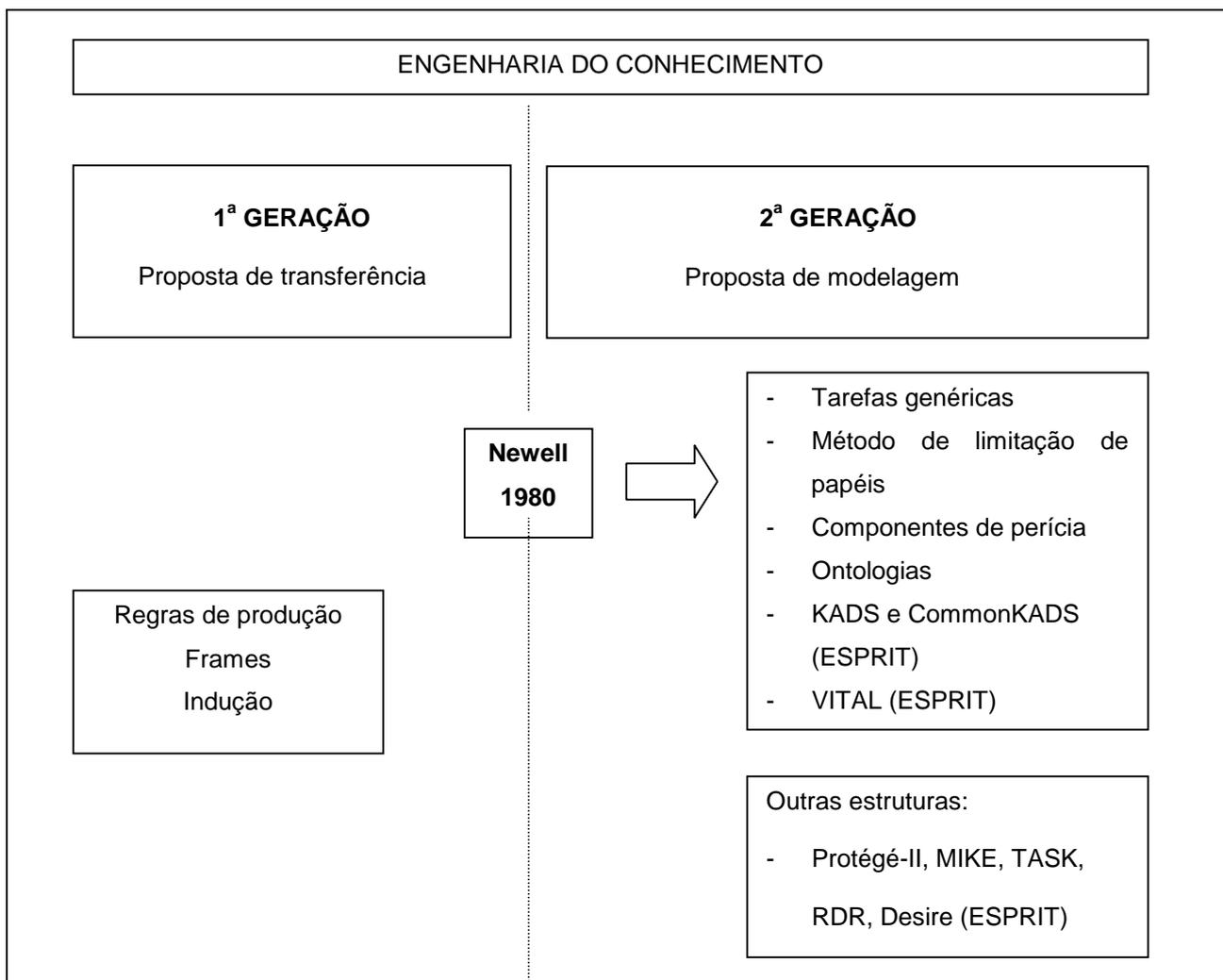


Figura 5.1: Sumário da Evolução da Engenharia do Conhecimento.

5.2.1 A hipótese do Nível de conhecimento

A hipótese do nível de conhecimento independe de sua representação na linguagem de programação. Newell formulou esta hipótese da seguinte forma:

Um sistema baseado em conhecimento é visto como um agente que atua como um possuidor de conhecimento sobre o mundo e utiliza esse conhecimento de modo completamente racional para atingir seus objetivos. O nível do conhecimento permite a descrição do comportamento deste agente acima do nível simbólico, sem considerações sobre o que exatamente é esse agente. Já o nível simbólico fornece a descrição do mecanismo que permite reproduzir esse comportamento e que atua sobre símbolos e estruturas de símbolos.

O nível simbólico é orientado a sistema, enquanto o nível do conhecimento é orientado a domínio (Abel, 2002, p.23).

É importante notar que o objeto da modelagem no nível do conhecimento não é conhecimento, mas sim comportamento, ou seja a interação observada entre um agente e seu ambiente (Clancey, 1989 apud Abel, 2002, p.23). Essa noção, de fato, é que provocou a mudança de paradigma da Engenharia do Conhecimento.

Existe um nível distinto do sistema computacional, situado imediatamente acima do nível simbólico, que é caracterizado pelo conhecimento como meio e o princípio da racionalidade como a lei do comportamento.

Representações (estrutura de dados e processos) são parte do nível simbólico, enquanto conhecimento é a matéria-prima do nível do conhecimento (Schreiber, 1992, p.08-09).

Newell descreveu a estrutura do nível do conhecimento como um agente que tem um corpo físico (consistindo de um conjunto de ações), um corpo de conhecimento e um conjunto de objetivos (objetivos são grupo de conhecimento sobre o estado do meio). O princípio da racionalidade que governa o comportamento do agente é formulado como segue:

“Se um agente tem conhecimento e uma de suas ações conduzirá a um de seus objetivos, então o agente selecionará esta ação” (Schreiber, 1992, p.09).

Seja a Figura 5.2 a seguir:

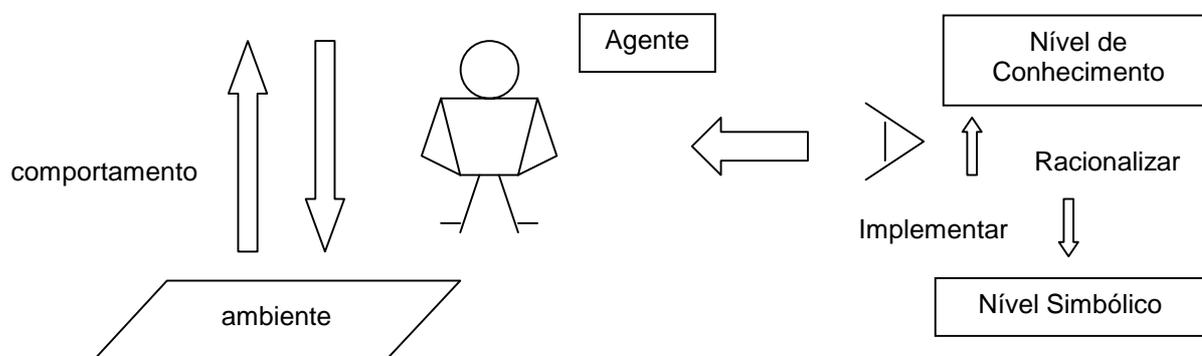


Figura 5.2: O nível de conhecimento e o nível simbólico são modelos de comportamento, ou seja, da interação observada entre o agente e o ambiente.

Fonte: Abel (2002, p.24)

O tema central, então passou a ser: qual é a natureza do conhecimento que o agente possui?

Newell caracterizou conhecimento como uma noção tipo competência, sendo um potencial para gerar ação e como funcionalidade em termos do que faz, não estruturalmente em termos de aspectos físicos. (Schreiber, 1992, p.09).

A representação é definida como um sistema simbólico que codifica um bloco de conhecimento.

5.2.2 Nível de Conhecimento & Aquisição de Conhecimento

Uma das áreas onde a hipótese do nível de conhecimento tem recebido considerável atenção é o campo da aquisição do conhecimento, onde os aspectos cognitivos da Engenharia do Conhecimento são tratados mais especificamente (Schreiber, 1992, p.09).

A experiência com os sistemas baseados em conhecimento de 1ª geração (Mycin e seus derivados) mostrou que a proposta de transferência para aquisição do conhecimento foi simplesmente inadequada. Nesta proposta o engenheiro do conhecimento tenta extrair conhecimento do especialista na forma da representação do sistema (ex. as regras de produção).

Os problemas com esta proposta foram múltiplos: a estruturação dos dados elicitados do especialista, nas representações requeridas eram difíceis e muitas vezes impossíveis tornando a manutenção dos sistemas com grandes base de dados problemática.

A principal razão para isto acontecer era o *GAP* entre a forma de solução do problema proposto e o objetivo da aplicação. Era necessária uma descrição intermediária do especialista, num nível mais abstrato, no domínio da tarefa. A introdução deste modelo intermediário implica numa proposta diferente para aquisição do conhecimento. Ao contrário da proposta de transferência, os dados do especialista não são mais transferidos diretamente em símbolos de máquina, não servem como entrada para o processo de modelagem.

5.2.3 Princípios da Modelagem do Conhecimento

Heijst (1997, p.183-292) apresenta os princípios que fundamentam as metodologias de Aquisição de Conhecimento (AC) da atualidade. São os seguintes: Princípio da Limitação por Papéis, Princípio dos Tipos de Conhecimento, Princípio da Responsabilidade e Princípio dos Modelos Estruturais.

I. Princípio da Limitação por Papéis: É um mecanismo conceitual que permite organizar o conhecimento através de restrição do modo como os elementos do conhecimento de um determinado tipo podem ser utilizados no raciocínio.

Análise detalhada da limitação por papéis pode ser vista em Benjamins (1998, p. 165-166), Marcus (1988), McDermott (1988).

II. Princípio dos Tipos de Conhecimento: o princípio anterior estabelece que elementos de conhecimento diferentes desempenham diferentes funções no raciocínio. Contudo, elementos de conhecimento devem ser apresentados por tipos, de acordo com sua função na solução do problema. Puerta (1992, p.171-196), Shreiber (1994, p.01-41) e Swartout (1995) destacam pelo menos 5 tipos diferentes de conhecimento:

- Tarefa: É uma descrição dos objetivos que precisam ser atingidos pela resolução do problema.

- Método de Solução de Problemas: São caminhos utilizados para se atingir os objetivos descritos pelas tarefas. E de algumas estruturas de modelagem do conhecimento, métodos de solução de problemas definem suas tarefas, que podem ser aplicadas em outros MSP's. Tais decomposições serão chamadas de instância de tarefa.

Este importante tipo de conhecimento pode ser melhor analisado em Benjamins (1998, p. 163-165) e Clancey (1985, p. 289-350).

- Inferência: Descreve os passos de raciocínio primitivo no processo de solução de problema. Inferências também são chamadas de mecanismos. Em conjunto, as inferências formam um modelo funcional, que muitas vezes é chamado de modelo de inferência.

- Ontologia: Descreve a estrutura e o vocabulário do conhecimento do domínio estático.

As ontologias constituem na atualidade uma importante área de pesquisa da aquisição do conhecimento, referendados por Heijst (1997, p.183-292), Chandrasekaran (1998, p.01-14), Protégé (2002) entre outros.

- Conhecimento de Domínio: É formado pelas instâncias dos termos descritos na ontologia. Este conhecimento é provido pelo especialista após o engenheiro do conhecimento ter definido a ontologia de aplicação.

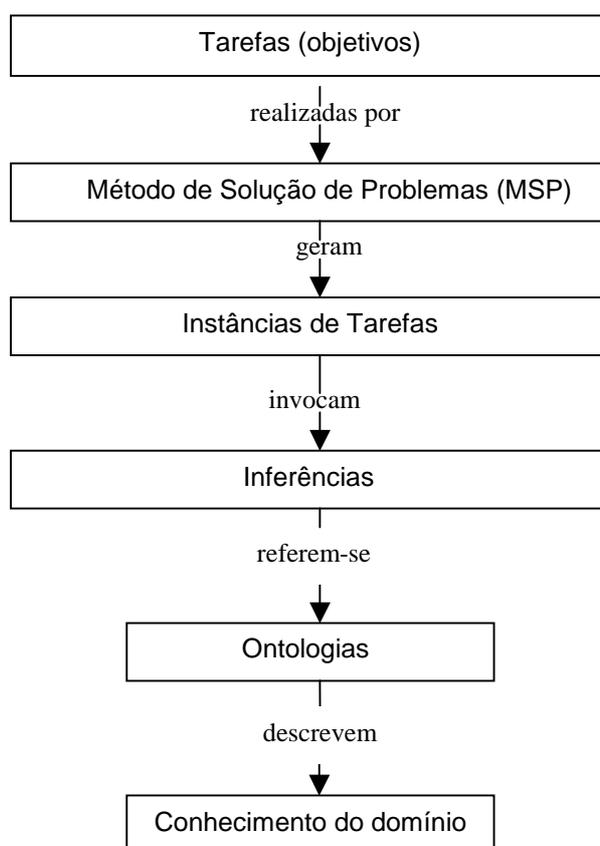


Figura 5.3: Os diferentes componentes dos modelos de conhecimento.
Fonte: Heijst (1997, p.02).

III. Princípio da Reusabilidade: Propostas atuais para Engenharia do Conhecimento enfatizam a reutilização dos componentes do conhecimento através dos domínios e tarefas. A disponibilidade das livrarias de componentes de conhecimento validadas e bem documentadas, não somente aceleram o processo de desenvolvimento de um SBC, mas também facilitam a manutenção e a atualização.

Contudo, existem diferenças entre as propostas com respeito à natureza e à granulação dos componentes, que serão considerados potencialmente reutilizáveis.

A busca da reusabilidade em SBC foi iniciada com o estudo de Clancey sobre o mecanismo de inferência do Mycin, que foi um marco na direção de se expressar métodos de solução de problemas de um sistema em um nível mais abstrato. Outros estudos foram feitos em diversos sistemas e percebeu-se que os métodos de solução utilizados nos diversos SBC's estudados compartilhavam muitas características tais estudos serviram de base para a idéia de tarefas genéricas (Generic Tasks) (Chandrasekaran, 1986, p.01-14) onde tarefas de solução de problemas são reutilizáveis na construção de novos SBC's.

Este esforço de pesquisa parte do pressuposto de que cada classe de problemas (por exemplo diagnóstico) é possível encontrar e descrever métodos genéricos (independente do domínio) para resolução dos problemas dessa classe.

- IV. Princípio de Utilização de Modelos Estruturais: Geralmente os componentes de conhecimento são reutilizados na forma de modelos estruturais. Um modelo estrutural define apenas uma parte de um modelo de conhecimento. O engenheiro do conhecimento tem que preencher as outras partes a fim de obter um modelo de conhecimento completo do sistema. Este caminho é o processo de modelar conhecimento utilizando modelos estruturais. Na literatura pode-se encontrar modelos estruturais para métodos de solução de problemas (Marcus, 1988), modelos de inferência (Breuker et al, 1987) e ontologias (Musen et al, 1988). A Figura 5.4 mostra como se relacionam os modelos, as atividades e os princípios.

A modelagem do conhecimento inicia com a seleção de um modelo estrutural. Pode também ser uma estrutura de modelagem geral ou um modelo de conhecimento parcialmente instanciado. Completa-se a estruturação. Este processo é balizado pelos princípios de modelagem. Na fase de implementação, um sistema de conhecimento operacionaliza uma solução adequada do problema como especificado no modelo de conhecimento.

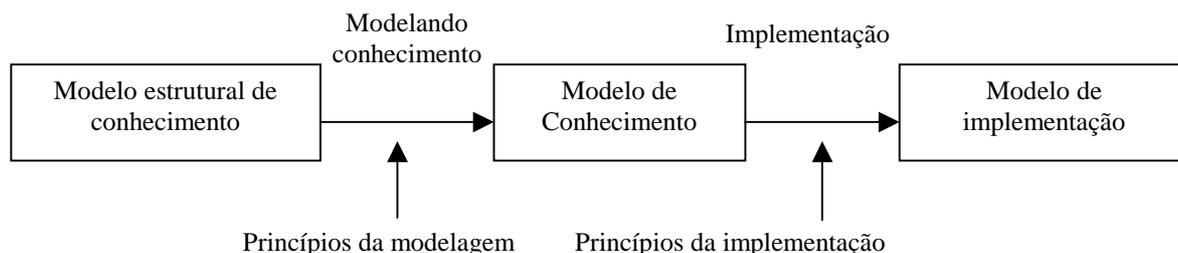


Figura 5.4: Visão esquemática das propostas modernas da Engenharia do Conhecimento.

Fonte: Heijst (1997, p.191).

5.2.4 O Processo de Modelagem

Na maioria das propostas correntes, a construção de um modelo de conhecimento envolve quatro atividades (Heijst, 1997, p.191):

- I. Construção de um modelo de tarefas para aplicação
- II. Seleção e configuração de uma ontologia para aplicação
- III. Mapeamento do Modelo de Tarefa na Ontologia de aplicação
- IV. Instanciação da Ontologia de aplicação

- I. Construção de um modelo de tarefas para aplicação

A primeira atividade na construção de um SBC é a análise das tarefas. O objetivo da análise da tarefa é decompor a tarefa da vida real em um número de tarefas genéricas e associá-las com os métodos de solução de problemas apropriados. Os métodos, juntamente com as tarefas formam um modelo de tarefa identificados na análise.

- II. Seleção e configuração de uma ontologia para aplicação

Corresponde à construção da ontologia específica para a aplicação. Caso exista uma biblioteca de ontologias o processo pode ser facilitado.

- III. Mapeamento do Modelo de Tarefa na Ontologia de aplicação

A ontologia de aplicação define os conceitos relevantes no domínio. Nessa fase define-se a associação entre os elementos da ontologia e os papéis estabelecidos no modelo de tarefas. Por exemplo, em diagnóstico

médico, instâncias do conceito doença geralmente irão assumir o papel da hipótese.

IV. Instanciação da Ontologia de aplicação

Enquanto a ontologia da aplicação define que conceitos são usados no domínio, o conhecimento da aplicação descreve as instâncias atuais desses conceitos. A separação entre conhecimento de aplicação e ontologia permite que esta seja reutilizada em outros domínios.

5.2.5 Metodologias de Construção de SBC's

A evolução das noções apresentadas por Newell levaram ao surgimento de uma série de metodologias de aquisição e representação do conhecimento que tornaram-se tecnologias de sucesso. Entre elas encontram-se:

- Tarefas Genéricas (Chandrasekaran, 1986, p.23-30)
- Método de Limitação de Papéis (McDermott, 1988)
- Componentes de Perícia (Steels, 1990)
- Ontologias (Wielinga, 1994) e Ontolíngua (Gruber, 1992)
- KADS (2002) e CommonKADS (2002)
- VITAL (2002)

Todas estas metodologias têm em comum a noção básica de Newell de um modelo do conhecimento deveria ser definido em termos de conhecimento, objetivo e ações. Nos modelos baseados no nível de Conhecimento existe um consenso de que esses termos podem ser traduzidos em três conceitos relacionados: o de modelo de domínio, modelo de tarefa e método de solução de problemas.

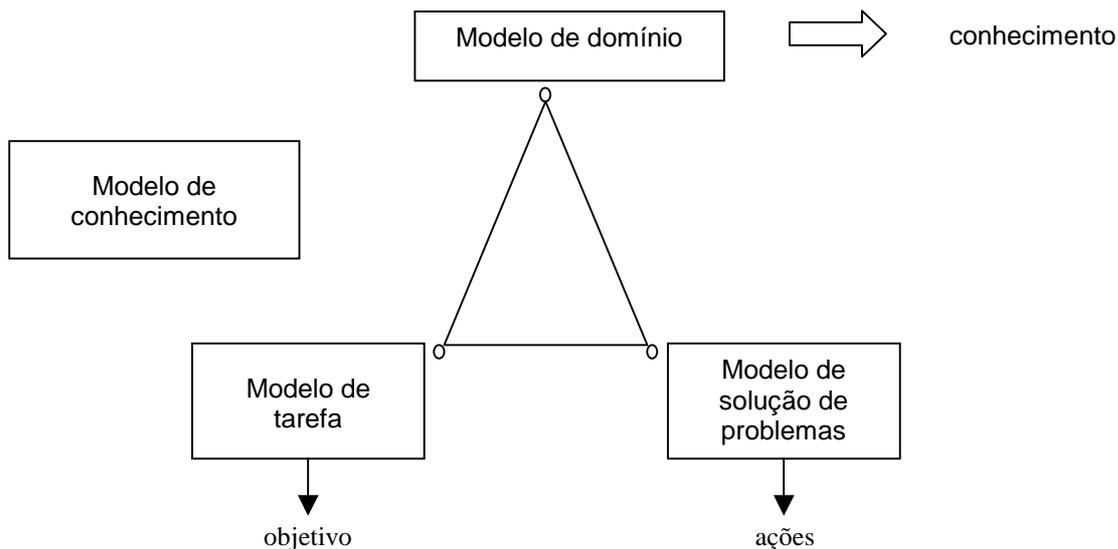


Figura 5.5: Modelo de conhecimento baseado nas noções básicas de Newell.

Sobre estes modelos ainda são feitas as seguintes considerações (Benjamins, 1998, p.163):

- Um modelo é uma aproximação da realidade, logo o processo de modelagem é contínuo em busca de maior aproximação do comportamento desejado;
- O processo de modelagem é cíclico, novas observações podem causar modificações no modelo, enquanto que o próprio modelo dirige o processo de aquisição do conhecimento;
- O processo de modelagem é falho, uma vez que depende de interpretações subjetivas, logo, o modelo deve ser progressivamente validado em cada estágio de seu desenvolvimento.

O modelo de domínio, da tarefa e os métodos de solução tornaram independentes os tipos de conhecimento com diferentes características, permitindo ainda uma sistematização no processo de modelagem de conhecimento, tornando-se uma unanimidade entre os pesquisadores de modelagem da Engenharia do Conhecimento. Seus benefícios podem ser evidenciados nos seguintes pontos (Abel, 2002, p.28):

- O modelo do domínio permite dirigir esforço de aquisição de conhecimento para a geração de grandes bases de conhecimento uniformes e compartilhadas, que podem atender a diversas aplicações, Isso minimiza

dois grandes problemas no desenvolvimento de sistemas especialistas: a dificuldade de aquisição de conhecimento associada à pouca vida útil do sistema.

- O modelo de tarefa permite modelar particularidades do problema ou diferentes formas de solução sem desrespeitar o formalismo de modelagem. Nas abordagens convencionais isso acabava sendo feito na forma de inserção de código no sistema, dificultando enormemente a manutenção do sistema.

A abordagem uniforme e flexível na construção de sistemas baseados em conhecimento e numa metodologia de desenvolvimento mais madura permitiu a definição de estratégias de integração desses sistemas com os demais sistemas de uma organização, sejam elas convencionais ou não. As novas metodologias, portanto, não abordam apenas a modelagem de conhecimento do especialista (modelagem de perícia), mas também o conhecimento organizacional e do contexto onde se inserirá o sistema.

Conforme analisado por Benjamins (1998, p.161-197) no início deste capítulo, o desenvolvimento apresentado foi influenciado pela Classificação Heurística, Método de Solução de Problemas, Método dos Papéis Limitados e Tarefas Genéricas, considerados como as raízes históricas que conduziram aos atuais frameworks de modelagem do conhecimento. Entre os mais conhecidos encontram-se CommonKADS e Protégé-II.

As metodologias iniciais tinham pouca preocupação com o desenvolvimento da estrutura do domínio (Chandrasekaran, 1986, p.23-30), (Clancey, 1985, p.289-350). Este aspecto só começa a ser tratado a partir da metodologia de Componentes de Perícia (Steel, 1990, p.11-21), onde há o conceito de modelo de domínio, que é chamado de ontologia em outras metodologias. Atualmente, a construção de ontologias é um campo de pesquisas por si conforme referências Fikes (1997), Falbo (1998, p.349-360), Heijst, (1997) e Chandrasekaran (1998).

No cenário dos SBC's surgiram muitas opções para um engenheiro do conhecimento, existindo a necessidade de estudos comparativos para orientar uma possível escolha.

Uma primeira tentativa nesse sentido foi a criação do projeto Sisyphus¹⁰ em 1990 no âmbito do EKAW na Holanda. O objetivo do projeto era colecionar dados para análises, que permitissem comparação de propostas em vários campos. Um deles era “Modelos de Solução de Problemas” (Schreiber, 1992, p.141).

Surgiram outras tentativas de unificação conforme indicada por Aamodt (2002) e segundo Breuker (1994, p.121-130) o CommonKADS foi projetado para ser uma metodologia de integração de metodologias orientadas a modelo.

No KAW98, Brazier (1998, p.01-36) apresenta um substancial estudo comparativo dos *frameworks* de modelagem da atualidade: PROTÉGÉ-II, CommonKADS, MIKE, VITAL, DESIRE, RDR e TASK.

Foram analisados cinco itens a saber: atributos de modelagem, linguagem utilizada, atributos de suporte, requisitos de entrada e saída. O trabalho de Brazier pretende ser um guia seletivo de *frameworks* de modelagem.

Outra importante análise, sem o enfoque comparativo, foi desenvolvida por Benjamins (1998, p.161-197). Ele descreveu a estrutura do CommonKADS, Protégé-II e MIKE para ilustrar os conceitos e métodos que forma desenvolvidos nos anos recentes, suplementando com uma discussão em pontos importantes como: especificação de linguagens para sistemas baseados em conhecimento, métodos de solução de problemas e ontologias.

Nos tempos atuais registram-se dois pólos mundiais desenvolvedores de pesquisa e análise do conhecimento em suas diferentes características: o bloco europeu (principalmente com o projeto ESPRIT)¹¹ e os Estados Unidos (principalmente com Stanford e empreendimentos supervisionados pelo *DOD - Department of Defense* como o HPKB)¹².

¹⁰ <http://ksi.cpsc.vcalgarg.ca/KAW/sisyphus/>

¹¹ <http://www.cordis.lu/esprit/lone.html>

¹² HPKB – High Performance Knowledge Base: <http://reliant.teknowledge.com/HPKB>

5.2.6 Metodologia CommonKADS: Características de Aplicação

Nesse contexto de SBC's estruturados em modelos, destaca-se a CommonKADS¹³ pelos seguintes aspectos:

- desenvolvido no âmbito do projeto ESPRIT por um grupo de Universidades e Centros de Pesquisa, tornando-se um padrão europeu para o desenvolvimento de SBC, conforme sites de referência;
- disponível na internet suas ferramentas de suporte para pesquisa e aplicação;
- ampla divulgação por parte de seus desenvolvedores, dos modelos, pesquisas, atualizações, testes e novas vertentes de investigação nos principais fóruns mundiais de Aquisição do Conhecimento, como o KAW (*Knowledge Acquisition Workshop*) e suas séries paralelas da Europa (EKAW), do Japão (JKAW) e Austrália (AKAW); bem como os simpósios de Inteligência Artificial como os do AAAI, conforme sites de referência;
- recente lançamento do “*Knowledge Engineering and Management*”- *The CommonKADS Methodology* pela MIT Press (Wielinga, 2000);
- experiências de utilização conforme (Wielinga, 2000, p. XII): Em 1986 a empresa alemã Bolesian Systems, agora parte de maior empresa europeia de software, a Cop. Gemini utilizou a primeira versão de KADS e refinou-o para uso interno no desenvolvimento de sistemas de conhecimento e construíram a seguir um grande número de sistemas comerciais no setor financeiro. Mais recentemente a companhia Everest usou o CommonKADS de maneira similar. Muitos bancos e companhias de seguro na Holanda têm desenvolvido sistemas com o CommonKADS para aplicações em empréstimo e hipotecas. No Japão, grandes companhias, incluindo a IBM fazem uso interno do sistema para aumentar a reusabilidade da arquitetura de *software*. No Reino Unido a Touche Ross Management Consultants agora Delloite Touche Thamasu desenvolveu um programa para detectar fraudes em cartão de crédito. Todas as grandes empresas de consultoria e

¹³ sites de referência da CommonKADS: <http://arti-rub.ac.be/kads>; <http://www.sci.psy.uva.nl/projecto/commonkads/home.html>; <http://www.sics.sc/ktm/projects/kads.html>; <http://www.commonkads.uva.nl>;

contabilidade do “*BIG SIX*”¹⁴: integraram grandes ou pequenas partes do CommonKADS em seus métodos de desenvolvimento interno. O CommonKADS tem freqüentemente servido de base para desenvolvimento e projetos de pesquisa, como programa Europeu de Tecnologia da Informação e em projetos de governos.

Ele também está sendo empregado em análise de processos de negócios como o projeto para *US West*. Da mesma forma tem a *Unilever*¹⁵ usado como padrão tanto em desenvolvimento de sistema de conhecimento intensivo como em gerenciamento do conhecimento. Somando-se as experiências descritas por Schreiber registrou-se o projeto *Catalyst*¹⁶ (emprego do CommonKADS na *Rolls-Royce and Associates Ltd* e *Oceanking Maritime*);

- além das utilizações mencionadas são identificados na internet milhares de sites com outras aplicações, teses e pesquisas, oriundas de todas as partes do mundo;

No Brasil em especial consta seu emprego em trabalhos de tese como:

- Silva (1999) – Utilização do KADS em Aquisição de Conhecimento para uma sociedade de agentes (mestrado)
- Santos (1999) – Utilização do KADS em Redes de Telecomunicações (mestrado)

ou incorporado em disciplinas de inteligência artificial como:

- Alvarenga (2002)
- Meneses (2001)
- Abel (2002)

- finalmente a metodologia do CommonKADS é um recurso tipicamente orientado à tarefa, como será visto em detalhes na seção 5.3.3., vindo ao encontro da RCM que também é estruturada em tarefas.

Tais indicativos balizaram a opção desta metodologia como base para incorporação do conhecimento intensivo às tarefas de manutenção centrada

¹⁴ BIG SIX – É o grupo de seis grandes empresas: Ernst &Young; Accenture, Andersen, KPMG, Delloite Touche Tohmatsu, Price Waterhouse and Coopers.

¹⁵ <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/kaw/kan96/speel/speel.html>

¹⁶ <http://www.esi.es/essi/reposrts/aji/10327>

em confiabilidade, além dela apresentar outras características nos estudos comparativos, mencionados anteriormente, em especial a granularidade e bibliotecas de seus construtores básicos.

5.3 O CommonKADS

Segundo Olsson (2002), o CommonKADS é uma metodologia para desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento, resultante do projeto ESPRIT-II (P5248) e KADS II (*KNOWLEDGE ANALISYS and DOCUMENTATION SYSTEM*, posteriormente *KNOWLEDGE ANALISYS and DESIGN SUPPORT*) iniciado em 1990 e terminado em 1994; o CommonKADS abrange muitos aspectos de um projeto de desenvolvimento de um SBC incluindo gerenciamento de projeto, análise organizacional, aquisição de conhecimento, modelagem conceitual, interação com o usuário, integração de sistemas e implementação computacional.

Descreve o desenvolvimento de um SBC sob a ótica de duas perspectivas:

- Perspectiva de Resultado: Um conjunto de modelos de diferentes aspectos, que são continuamente modificados durante o ciclo de vida do projeto.
- Perspectiva de Gerenciamento: Um modelo de ciclo de vida especial genérico com risco dirigido, que pode ser configurado num processo adaptado a um projeto particular.

O KADS-II foi o sucessor do projeto KADS (P1098) que terminou em 1989. KADS foi adotado por muitas companhias e organizações de pesquisa, especialmente na Europa, e também nos Estados Unidos. CommonKADS está fortemente posicionado em seu padrão de desenvolvimento de SBC na Europa

A Figura a seguir sintetiza a evolução do CommonKADS

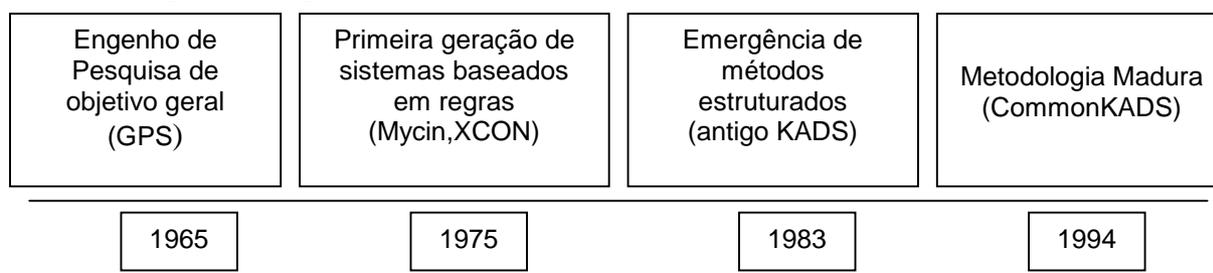


Figura 5.6: Uma breve história do CommonKADS
Fonte: adaptado de Wielinga (2000, p.14-23).

Resumindo, o CommonKADS teve sua origem no KADS (2002, p.92-116) e nos Componentes de Sistemas Especialistas (Steels, 1990), foi influenciado por propostas nos Estados Unidos como as Tarefas Genéricas (Chandrasekaran, 1993), Protégé (2002) e Métodos de Funções Limites (Marcus, 1988).

5.3.1 Construção de SBC usando CommonKADS

Ao longo do capítulo foram mostradas as idéias fundamentais da aquisição de conhecimento (AC). Assim, dentre as opções de metodologias de AC baseadas em modelos, escolheu-se o CommonKADS, como base para desenvolvimento desta tese. Tal sistema considera a construção de um SBC como atividade de modelagem (Wielinga, 1994, p.28-37), e é estruturado em seis modelos, que devem ser instanciados para um sistema a ser construído. Os modelos propostos estão sintetizados a seguir:

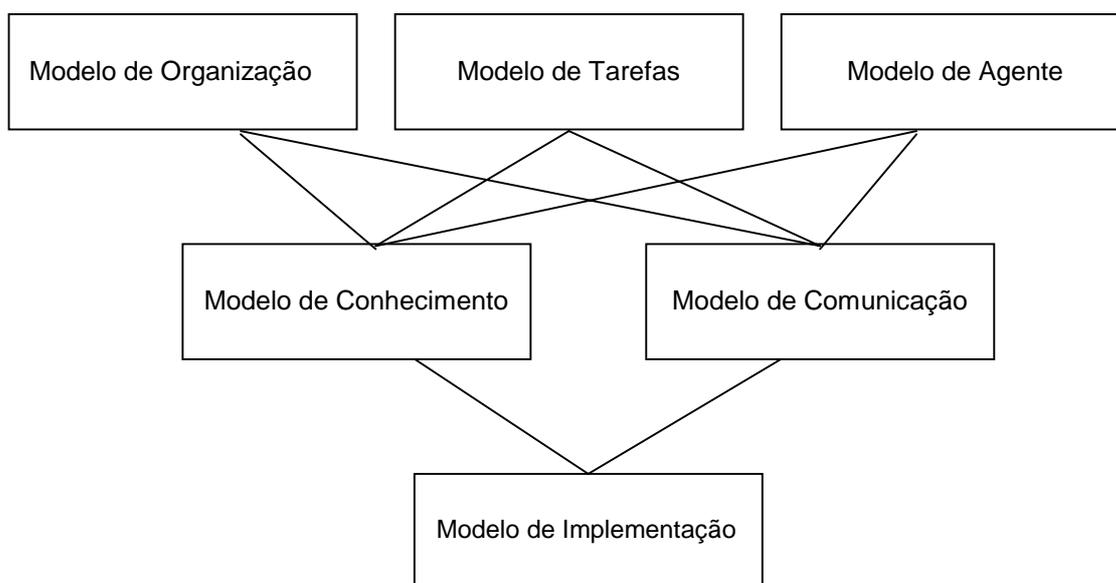


Figura 5.7: Os modelos do CommonKADS
Fonte: Wielinga (2000, p.18)

- Modelo de Organização: O modelo de organização compreende a análise das características macro de uma organização de forma a descobrir problemas e oportunidades para os sistemas de conhecimento, estabelecer sua praticidade e acesso aos impactos na organização das ações de conhecimento pretendidas.

- Modelo de Tarefas: As tarefas são as subpartes relevantes do processo. Um modelo de tarefas analisa o *layout* global das tarefas, suas entradas e saídas, condições e critérios de desempenho, assim como os recursos necessários e competências.

- Modelo de agentes: Os agentes são os executores de uma tarefa. Um agente pode ser humano, um sistema de informação, ou qualquer outra entidade capaz de executar uma tarefa. O modelo de agente descreve a característica dos agentes, em particular suas competências, autoridade para agir e restrições neste aspecto.

- Modelo de Conhecimento: O objetivo deste modelo é explicar em detalhes os tipos e estruturas do conhecimento usados no desempenho da tarefa. Ele fornece uma descrição da função que diferentes componentes do conhecimento desempenham na resolução do problema, num caminho entendível pelos humanos.

- Modelo de Comunicação: Vários agentes podem estar envolvidos numa tarefa, portanto é importante modelar as transações entre eles. Isto é feito pelo modelo de comunicação.

- Modelo de Implementação: Os modelos do CommonKADS, juntamente, podem ser vistos, como as especificações necessárias para um sistema de conhecimento, separadas em aspectos diferentes. Baseado nesses requisitos, o modelo em referência fornece as especificações técnicas de sistema em termos de arquitetura, plataforma de implementação, módulos de softwares, construtores de representação, e mecanismos computacionais necessários para implementar as funções verificadas nos modelos de conhecimento e comunicação.

Sintetizando:

- Os modelos de organização, tarefa e agentes analisam o meio organizacional e os correspondentes fatores de sucesso críticos para um sistema de conhecimento.

- Os modelos de conhecimento e comunicação fornecem as descrições conceituais das funções de resolução dos problemas e os dados que são manuseados e entregues pelo modelo de conhecimento.

- O modelo de implementação converte tudo isto numa especificação técnica que é a base para implementação de um sistema de software.

A idéia central é que estes modelos sejam utilizáveis à medida que forem necessários na construção de um sistema. Cabe ao projetista de SBC escolher os modelos adequados para o seu projeto.

Neste trabalho será focado apenas o modelo de conhecimento (modelo de perícia) devido aos objetivos e limitações mencionados no capítulo 1, sendo sua apresentação detalhada desenvolvida na seção 5.3.3.

5.3.2 Interação do CommonKADS com Outras Disciplinas

Para efetivar todos os objetivos de seus modelos o sistema CommonKADS e sua engenharia se relacionam com outras modalidades de sistemas de informação e gerenciamento. Segundo Wielinga (2000, p.23), ele tem sido influenciado por outras metodologias conforme Figura 5.8, incluindo análise de sistemas estruturados, orientação a objetos, teoria da organização, reengenharia de processos, gerenciamento da qualidade entre outros.

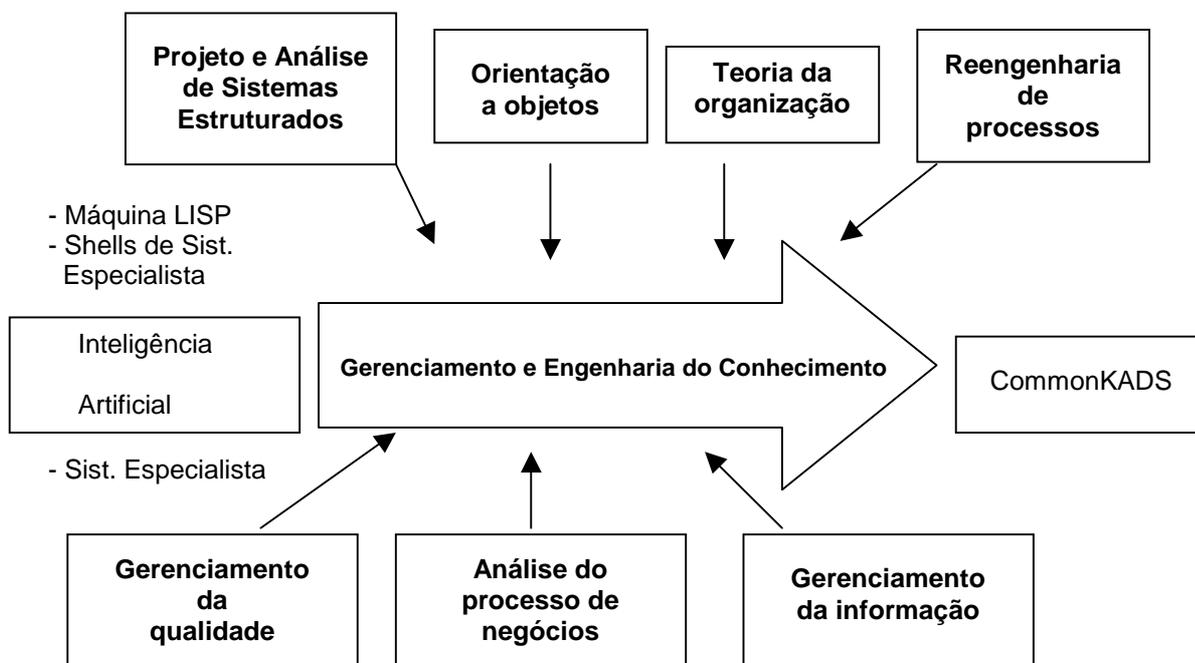


Figura 5.8: Interação do CommonKADS com outras disciplinas.

5.3.2.1 A Influência de Outras Disciplinas no Modelo de Tarefa e seu Contexto Organizacional

A análise organizacional orientada ao conhecimento para o modelo de organização, tarefa e agente do CommonKADS foi primeiro desenvolvido por Hoog em 1996 e corroborado por Post em 1997 quando apresentou o estudo de um caso instrutivo. A técnica de planilhas práticas é baseada nos desenvolvimentos posteriores elaborados pela Unilever.

A proposta CommonKADS intencionalmente combina e integra idéias vindas de várias áreas de análise organizacional e administração de negócios, como podem ser vistas nas referências elencadas por Akkermans em (Wielinga, 2000, p.66-67).

O CommonKADS objetiva integrar análise de processo organizacional e análise de informações. Apresenta propostas práticas de integração entre processo de negócios e reengenharia, bem como um link entre reengenharia de processo de negócios e gerenciamento da qualidade total.

Idéias e técnicas das áreas de comportamento organizacional, gerenciamento de recursos humanos e ergonomia encontram também reflexo nos modelos CommonKADS.

CommonKADS contém uma organização de estado da arte e método analítico, com especial ênfase no aspecto conhecimento e sua integração com modernas modelagem de informação.

5.3.2.2 As influências de Outras Disciplinas no Modelo de Componentes do Conhecimento e Tarefas Templates¹⁷

O modelo de conhecimento CommonKADS é constituído de uma série de estruturas propostas na literatura de engenharia do Conhecimento. Algumas propostas bem conhecidas são Protégé (2002), Generic Tasks (Chandrasekaran, 1988), Role- Limiting Methods (Marcus, 1988), Components of Expertise (Steels, 1993), DIDS (Runkel, 1996), MIKE (Angele, 1998) e Desire (Brazier, 1996). Exemplos do uso destas propostas

¹⁷ tarefa template – tarefa: padrão de conhecimento intensivo com reutilização

empregando o mesmo conjunto de dados pode ser encontrado no *International Journal of Human-Computer Studies* (Linster, 1994).

A literatura dos modelos de análise na engenharia de software é ampla.

Na modelagem do conhecimento, o CommonKADS utiliza o *Unified Modelling Language* para análise orientada a objetos de (Booch, 1998).

Os modelos de tarefas *templates* foram embasados nos trabalhos de (Clancey, 1985), (Breuker, 1994) e (Stefik, 1993). Em particular os modelos de *templates* de diagnóstico foram baseados em (Benjamins, 1993).

5.3.2.3 A Influência de Outras Disciplinas no Modelo de Comunicação

A versão original do modelo de comunicação do CommonKADS foi desenvolvida por Waern et al (1993) para sistemas de conhecimento convencionais. A versão atual deste modelo foi expandida para sistema multiagente inteligente elaborado por Akkermans et al (1998).

5.3.3 O Modelo de Conhecimento (ou Modelo de Perícia)

A descrição do modelo de conhecimento está baseada em Wielinga (2000, p.85-121). A maior contribuição da proposta CommonKADS é a estrutura do Modelo de Perícia que distingue 3 diferentes tipos de conhecimento requerido para resolver uma tarefa particular. Basicamente os três tipos correspondem a uma visão estática, uma visão funcional e uma visão dinâmica do SBC a ser construído. Vide Figura 5.9 como, exemplo de tarefa a seguir:

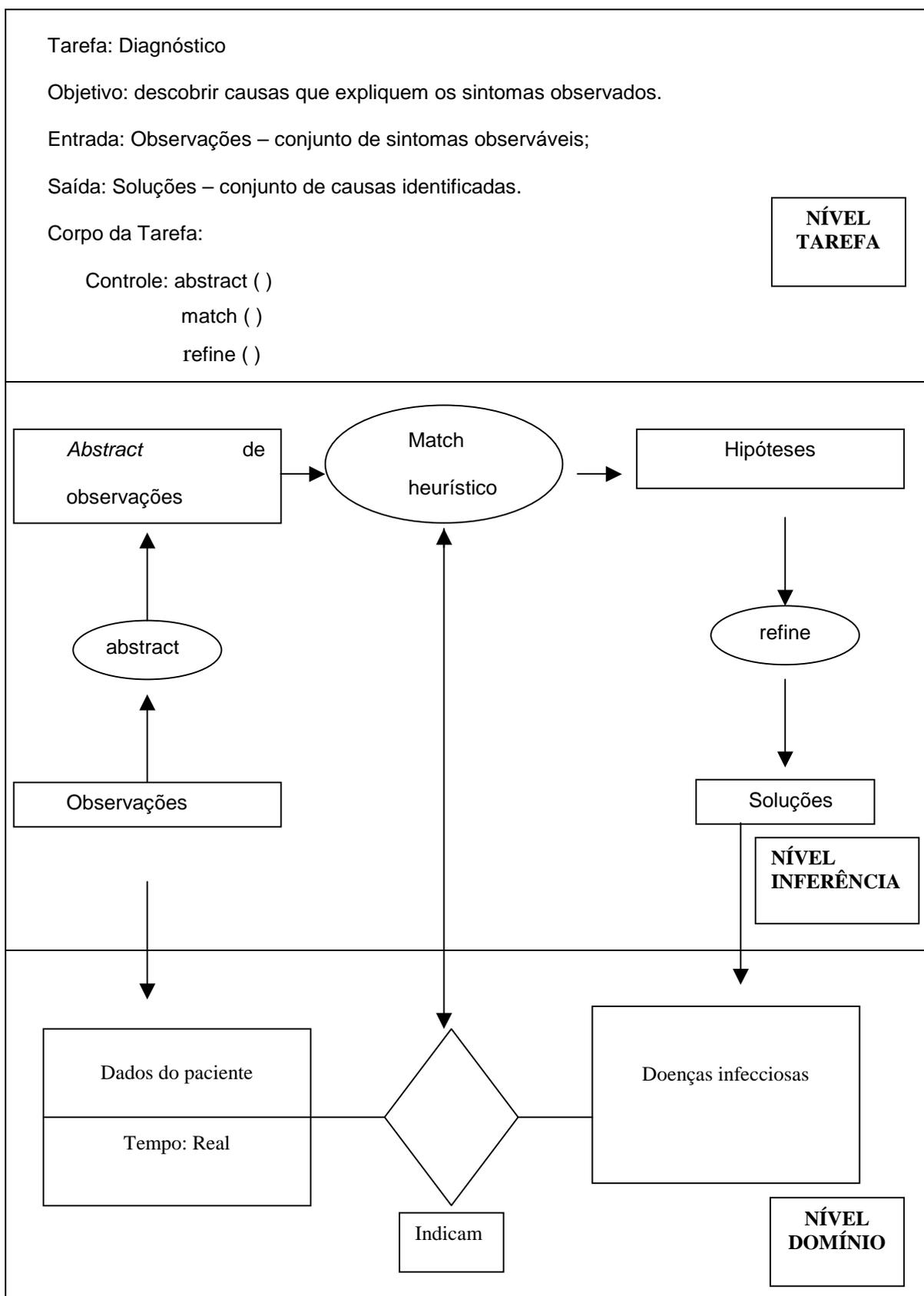


Figura 5.9: Modelo de Perícia para diagnóstico médico (notação CML simplificada).
 Fonte: Benjamins (1998, p.169).

Nível Domínio: No nível domínio é modelado todo o conhecimento específico para solucionar uma tarefa. Isto inclui a conceitualização do domínio numa ontologia e uma teoria declarativa do conhecimento requerido. Um dos objetivos da estruturação deste nível é a reutilização para seleção de tarefas diferentes.

Nível Inferência: No nível de inferência o processo de raciocínio de um SBC é especificado pela utilização da noção de um Método de Solução de Problemas (*Problem Solving Systems – PSM's*). este nível descreve as ações de inferência do MSP genérico, composto também pelas funções, que representam o conhecimento do domínio. As dependências entre ações de funções fornecem uma visão independente do domínio no conhecimento do domínio. Na figura anterior, mostra-se a estrutura de inferência para a Classificação Heurística de um MPS. Pode-se ver que “dados do paciente” representam a função de “observações” na estrutura de inferência da Classificação Heurística.

Nível Tarefa: O nível tarefa fornece a decomposição das tarefas em sub-tarefas e ações de inferência, incluindo uma especificação de objetivo para cada tarefa, e a explicitação de suas execuções. Este nível fornece também os meios de especificação dos controles das sub-tarefas e ações de inferência.

Em essência o Modelo de Perícia captura os requisitos funcionais para o sistema que se deseja analisar. Baseado nestes requisitos desenvolve-se o Modelo de Implementação, que especifica entre outros a arquitetura do sistema e os mecanismos computacionais para realização das ações de inferência. O CommonKADS procura preservar a estrutura do projeto, isto é a estrutura do Modelo de Implementação refletirá a estrutura do Modelo de Perícia tanto quanto possível (Wielinga, 1994, p.28-37).

As próximas seções detalham os níveis do MP. A linguagem utilizada na sua construção é a *CML – Conceptual Modeling language* (2002), sendo uma linguagem semiformal com notação gráfica¹⁸, inteiramente disponível na *web*.

¹⁸ <http://web.swi.psy.uva.nl/project/kads22/cml2doc.html>

5.3.3.1 Nível de Domínio

O desenvolvimento deste item está baseado em Wielinga (200, p.91-103) e Abel (2002). Descreve as informações estatísticas do domínio e os objetos de conhecimento. As estruturas do domínio descrevem de forma esquemática os tipos abstratos do domínio e como eles se organizam através de hierarquias e relacionamentos. As bases de conhecimento contém as instâncias do conhecimento desses tipos abstratos que representam o problema particular a ser resolvido no contexto onde ele se insere. A Figura 5.10 apresenta a macrovisão desta modelagem. O conhecimento do domínio, portanto, descreve os objetos, suas propriedades, e os relacionamentos que compõem a base sobre a qual uma tarefa raciocina.

I) ESTRUTURAS DO DOMÍNIO - são definidas através de três construtos: conceito, relação e tipo-regra.

*Os conceitos descrevem os objetos ou entidades de domínio de aplicação. São definidos através de seus atributos e valores, sendo que os valores de um atributo são definidos em termos de tipo e de domínio de valores.

A figura explicita a especificação gráfica e textual dos conceitos e seus atributos e os correspondentes tipos de valores no KADS. Um conceito é graficamente representado por um retângulo de duas partes. O nome do conceito é escrito na parte superior e o atributo listado na parte inferior, junto com seus tipos de valores.

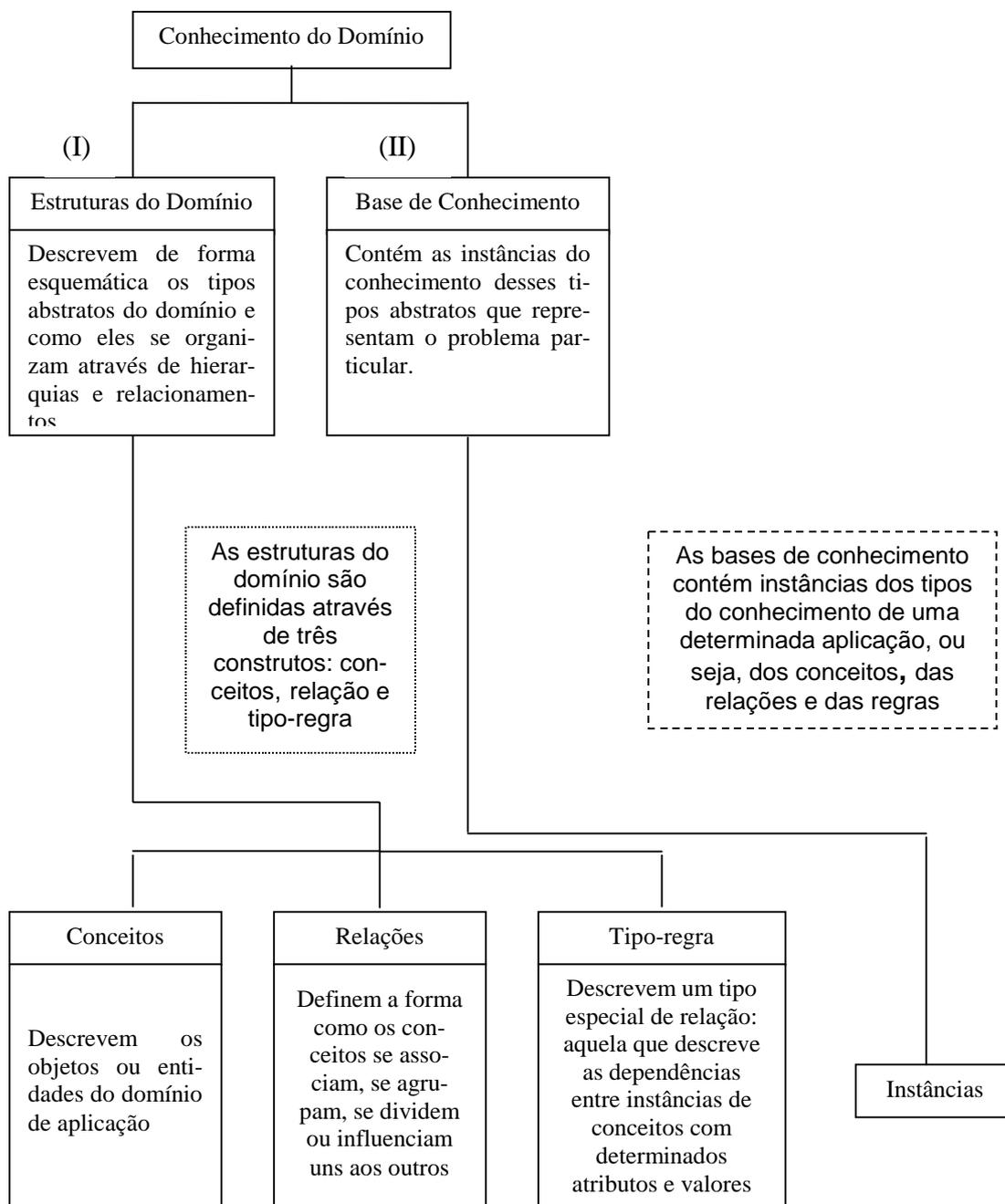
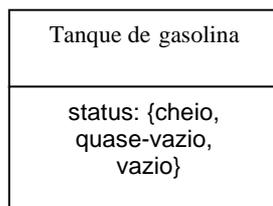


Figura 5.10: Componentes do Conhecimento do Domínio.

Fonte: Wielinga (2000, p.91-103)



representação gráfica

```

CONCEPT tanque de gasolina
  ATTRIBUTES
    Status:{cheio, quase-vazio, vazio}
END CONCEPT tanque de gasolina

```

representação textual em CML

Figura 5.11: Conceito do domínio de aplicação
Fonte: adaptado de Wielinga (2000, p.93)

- As relações definem a forma como os conceitos se associam, se agrupam, se dividem ou influenciam uns aos outros. São definidas através da especificação de argumentos. Os construtos de relação mais utilizados são o BINARY RELATION, pois grande parte das relações tem precisamente dois argumentos, e o SUB-SUPERTYPE-OF, que permite hierarquizações de conceitos, pois englobam relações como subclasse-de, subconjunto-de ou subcomponente-de.

A Figura 5.12 exemplifica aplicações destes construtos

a) BINARY-RELATION



a.1 representação gráfica

```

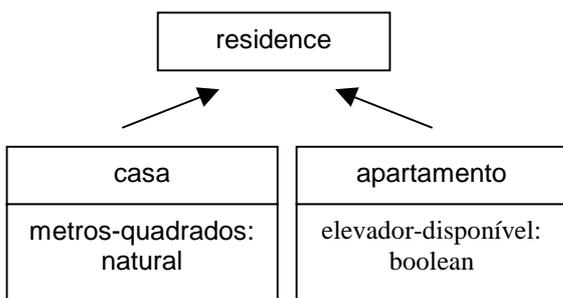
BINARY RELATION owned-by;
  INVERSE: owns;
  ARGUMENT-1: car;
    CARDINALITY: 0-1;
  ARGUMENT-2: person;
    CARDINALITY: ANY;
  ATTRIBUTES:
    purchase-date: DATE;
END BINARY-RELATION owned-by;

```

a.2 representação textual em CML

Figura 5.12a: Aplicação dos Construtos de relação
Fonte: adaptado de Wielinga (2000, p.95)

b) SUBTYPE OF RELATION



b.1 representação gráfica

```

CONCEPT casa;
DESCRIPTION:
  "uma casa com terreno próprio";
SUB-TYPE-OF: residence;
ATTRIBUTES: metros quadrados: natural;
END CONCEPT casa;
  
```

```

CONCEPT apartamento;
DESCRIPTION:
  "parte de um grande bem";
SUB-TYPE: residence;
ATTRIBUTES:
  elevador disponível: NATURAL;
  disponível: BOOLEAN;
END CONCEPT apartamento;
  
```

b.2 representação textual em CML

Figura 5.12b: Aplicação do Construto Sub-type
 Fonte: adaptado de Wielinga (2000, p.98)

- Os tipo-regra descrevem as dependências entre instâncias de conceitos com determinados atributos e valores, definindo os caminhos possíveis de inferência do modelo. As instâncias dos conceitos do domínio, devidamente valorados são descritas como expressões do domínio. Os construtos tipo-regra podem definir tipos, como: *state dependency* e *manifestation-rule*.

O exemplo a seguir ilustra a modelagem do conhecimento por estes construtos, utilizando relações de conceitos no diagnóstico de um carro constante na Figura 5.13.

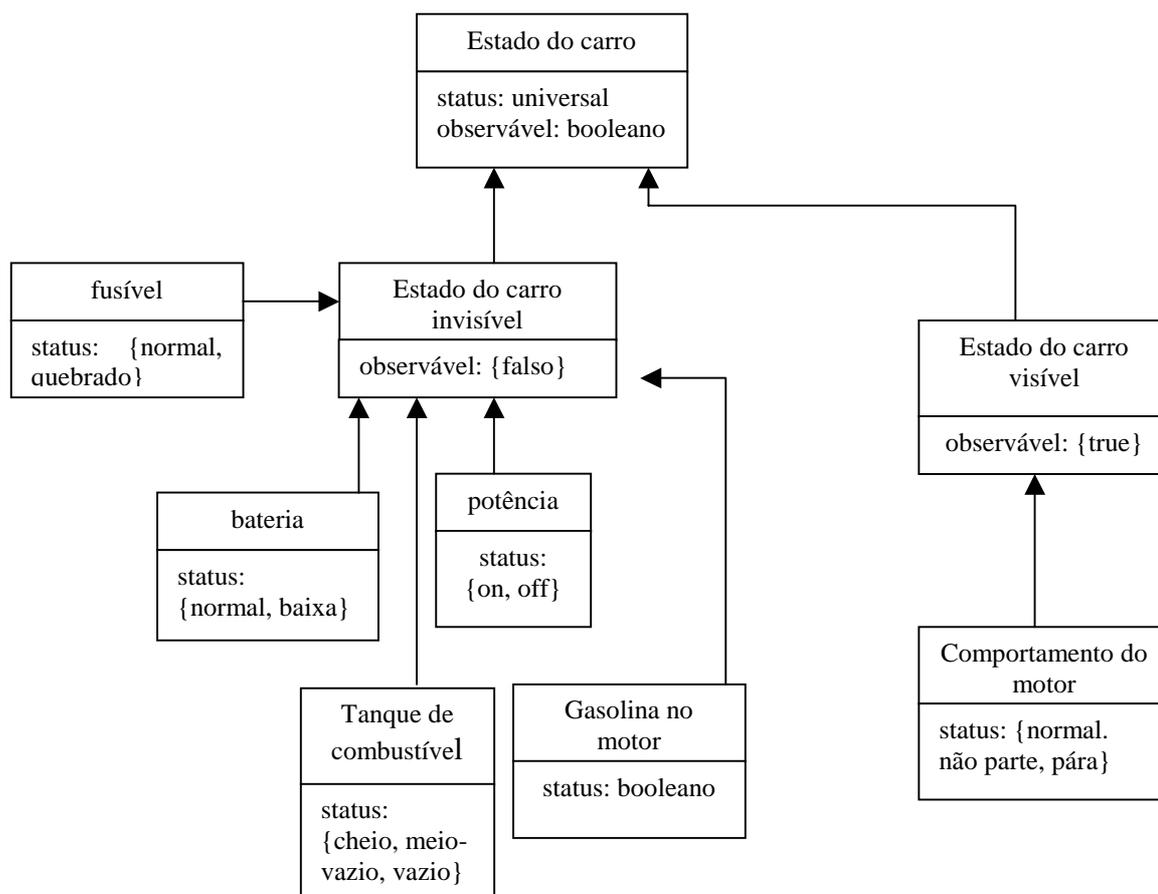


Figura 5.13: Relações de Subtype-of entre conceitos no domínio do diagnóstico de carro.
 Fonte: adaptado de Wielinga (2000, p.99)

I) Tipo-regra: *state dependency*

- 1.1) fuel-supply.status = blocked
 CAUSES
 Gas-in-engine.status = false;
- 1.2) battery.status = low
 CAUSES
 power.value = off

II) Tipo-regra: *manifestation-rule*

- 2.1) fuse.status = blown HAS.MANIFESTATION
 fuse-inspection.value = broken;
- 2.2) battery.status = low HAS.MANIFESTATION
 Battery.dial.value = zero;

Estas regras são um tipo especial de relação, não são entre instâncias de conceitos e sim entre expressões de conceitos. A forma usual de descrever estruturas do domínio é através de ontologias do domínio.

- Ontologia do domínio: segundo Benjamins (1998, p.184) são as definições básicas a respeito do domínio, ou seja: (I) um vocabulário de conceitos que são os termos dos domínios; (II) os tipos que esses conceitos podem ser e que valores podem possuir, ou a tipologia do domínio; (III) a estrutura de relacionamento entre os termos, especialmente as relações de classe ou partes, ou seja, a taxonomia ou partonomia do domínio. A ontologia do domínio permite definir formalmente um universo compartilhado, sobre o qual as operações vão ocorrer.

II) BASES DE CONHECIMENTO – contém instâncias de conhecimento dos tipos abstratos de uma determinada aplicação, ou seja, dos conceitos, das relações e das regras. As instâncias do conhecimento do domínio, são instâncias do próprio domínio, como nome de peças, de componentes, regras de diagnósticos, etc. São construídas com o vocabulário do domínio e respeitando as restrições definidas pelo conhecimento do domínio.

A Figura 5.14 exemplifica uma base de conhecimento formada para diagnóstico de falha de um carro, contendo instâncias dos tipos de regra: *state dependency* e *manifestation-rule*.

```

KNOWLEDGE-BASE car-network;
USES:
    state dependencies FROM car-diagnosis-network;
    manifestation-rule FOM car-diagnosis-schema;
EXPRESSIONS:
    /*state dependencies*/
    fuse.status = blown CAUSES power.status = off;
    battery.status = low CAUSES power.status = off;
    power.status = off CAUSES engine-behavior.status = does-not-start;
    fuel-tank.status = empty CAUSES gas-in-engine.status = false;
    gas-in-engine.status = false CAUSES engine-behavior.status = does-not-start;
    gas-in-engine.status = false CAUSES engine-behavior.status = stops;

    /*manifestation rules*/
    fuse.status = blown HAS MANIFESTATION fuse-inspection.value = broken;
    battery.status = low HAS MANIFESTATION battery-dial.value = zero;
    fuel-tank.status = empty HAS MANIFESTATION gas-dial.value = zero;

END KNOWLEDGE-BASE car-network

```

Figura 5.14: Base de conhecimento do Domínio de um carro pelo construto tipo-regra.
Fonte: Wielinga (2000, p.104)

5.3.3.2 Nível de Inferência

O conhecimento do domínio é descrito com uma estrutura de informação ou conhecimento estático da aplicação, o conhecimento de inferência descreve como estas estruturas estáticas podem ser utilizadas no processo de raciocínio. O conhecimento de inferência é descrito através das primitivas de inferências, papéis do conhecimento e funções de transferência (Wielinga, 2000, p. 104).

A Figura 5.15 ilustra o conhecimento de inferência e seus construtos.

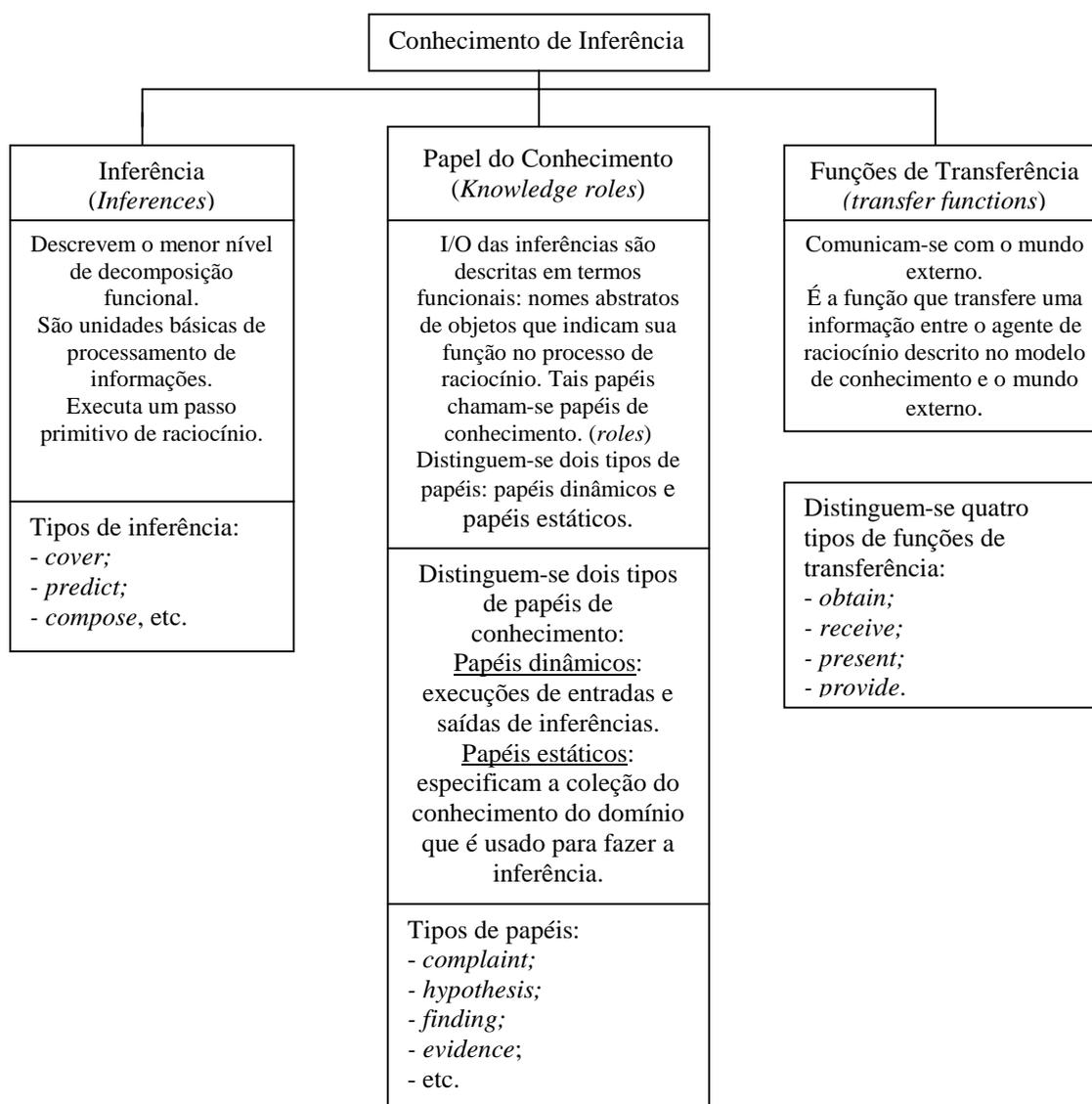


Figura 5.15: Conhecimento de Inferência
Fonte: Wielinga (2000, p.104-111)

O anexo 1A, mostra um exemplo explicitado da primitiva COVER tanto na linguagem conceitual CML, como na representação gráfica, e no Anexo 1B, uma coleção de primitivas de inferências do CommonKADS.

5.3.3.3 Nível de Tarefa

Este item está baseado em Wielinga (2000, p.112-124) e Abel (2002). Esta categoria de conhecimento descreve como serão executadas as tarefas do domínio, de acordo com seus objetivos e as atividades necessárias para atingir esses objetivos.

Dois tipos de conhecimento são fundamentais na descrição do conhecimento da tarefa: a tarefa e o método da tarefa. A tarefa define uma função de raciocínio complexo, explicitada em termos de objetivos e papéis de entrada e saída. O método da tarefa descreve como a tarefa pode ser realizada através da decomposição em subfunções, e uma estrutura de controle para execução das subfunções. Deste modo, tarefa e método da tarefa podem ser entendidos, respectivamente como “o que necessita ser feito” e “como as tarefas raciocinam”.

A Figura 5.16 exemplifica o conhecimento da tarefa diagnóstico.

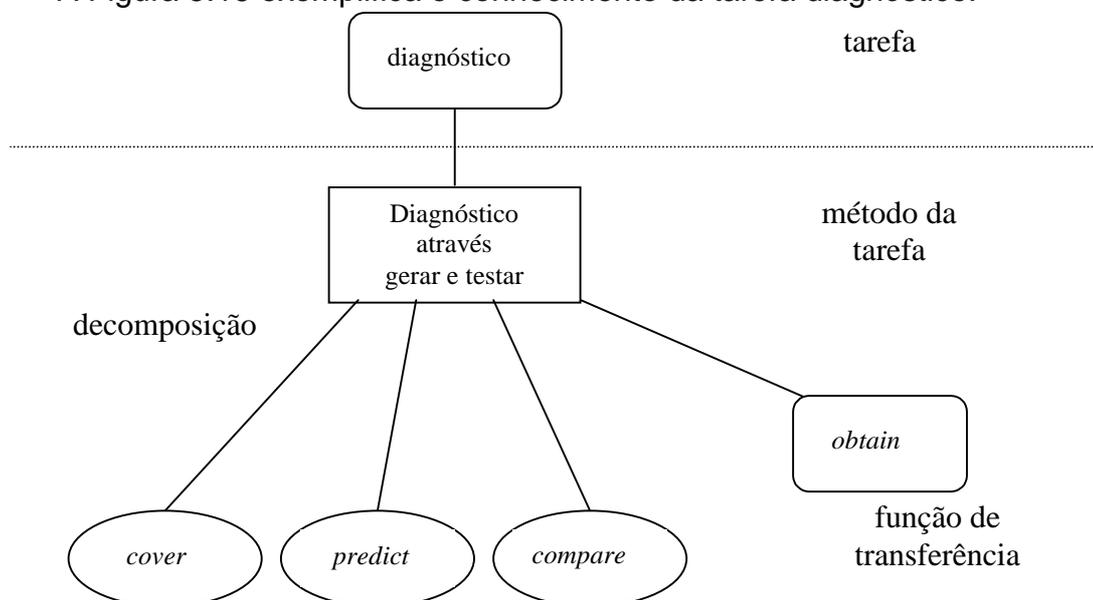


Figura 5.16: Conhecimento da tarefa diagnóstico
Fonte: Wielinga (2000, p. 113)

No anexo 2 encontra-se explicitada a tarefa *car-diagnosis* em linguagem CML2.

Existem vários caminhos nos quais modelo de conhecimento estruturam o processo de modelagem do conhecimento. Uma proposta de alto potencial é a combinação reutilizável dos elementos do modelo, significando que para determinada aplicação, nem todos os elementos necessitam ser utilizados, o que pode não ocorrer para outros domínios ou tarefas.

Nesse sentido, CommonKADS possui uma coleção pré-definida de modelos de conhecimento, na forma de Tarefas Templates. Essa coleção pode ser de grande ajuda ao engenheiro do conhecimento.

Tarefas Templates formam um tipo comum de combinação reutilizável de elementos de modelagem, sendo de conhecimento parcial onde são especificados inferência e conhecimento da tarefa como a tarefa RCM-diagnosis do capítulo 7, típica para solução de um problema particular. Elas podem ser reaplicadas em novos casos e ainda permitem análise de conhecimento na forma top-down. A coleção de tarefas *templates* do CommonKADS distingue dois grupos de tarefas: analíticas e sintéticas.

A figura a seguir apresenta esses dois blocamentos:

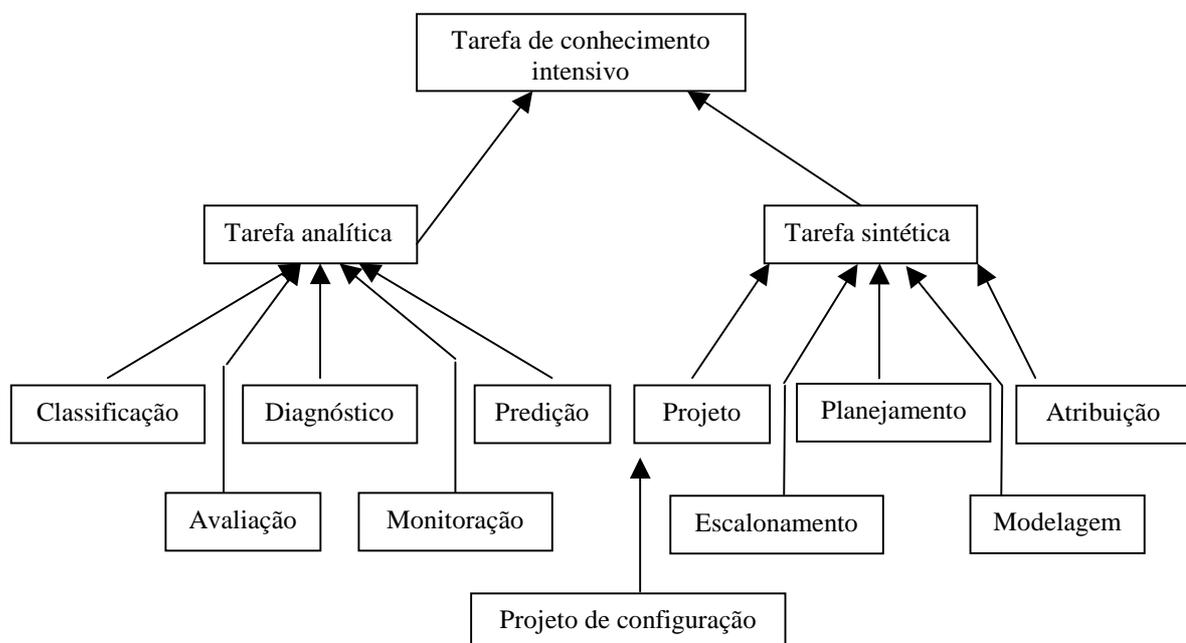


Figura 5.17: Hierarquia dos tipos de tarefas de conhecimento intensivo baseado nos tipos de problemas que estão sendo resolvidos.

Fonte: Wielinga (2000, p.125)

Wielinga (2000, p.128-166) apresenta um catálogo destas templates, analisando de cada uma: objetivos, bem como combinações de tarefas em determinadas aplicações.

Abel (2002), além de realizar breve análise dessas tarefas, em termos de entrada, saída, conhecimento e características, discute também como elas podem se aplicadas a diferentes domínios cujas ontologias baseiam-se nas mesmas primitivas.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Procurou-se mostrar ao longo do capítulo que a Engenharia do Conhecimento de 2ª geração evoluiu estruturada na hipótese dos níveis de conhecimento apresentada por Newell em 1980. Como se estruturaram os princípios e processo de modelagem do conhecimento até chegar-se ao desenvolvimento das metodologias de construção dos SBC's atuais.

No item 4.4 do capítulo anterior deste trabalho, chamou-se atenção para o 3º parágrafo onde se propunha, “é possível aplicar uma metodologia de gestão do conhecimento na manutenção, principalmente na RCM devido a natureza do problema”.

Descreveu-se, também, de forma sintética as fases necessárias para estabelecimento desta metodologia, onde nas fases 3 e 4, explicou-se como novos processos; a exemplo do CommonKADS, seriam de alta eficácia.

No item 5.2.5 deste capítulo procurou-se apresentar uma série de motivos, que permitem identificar este *framework*, desenvolvido no seio do projeto ESPRIT e que tornou-se um padrão europeu de sistema baseado em conhecimento, para tratamento do conhecimento intensivo em RCM.

Mostrou-se, também, como o CommonKADS tem sido aplicado com sucesso em diversas áreas e setores empresarias, e que a gestão engenharia do conhecimento é relevante para estruturas organizacionais com características que se encontram na manutenção, a exemplo do projeto Catalyst e da Unilever.

Independente de não haver nenhum registro explícito do desenvolvimento do CommonKADS num projeto de manutenção de Sistemas Elétricos, nem projeto de RCM mesmo que não fosse na área de sistema de

potência, conforme pesquisa acima referenciada, a maleabilidade do modelo de conhecimento permite estabelecer como já foi dito em seções e capítulos anteriores, bases de conhecimento padronizadas, inovadoras e explícitas. Procurando tornar conhecido, o saber referente aos produtos, processos e tecnologias da empresa nos níveis necessários para resolução dos problemas pela explicitação do conhecimento de forma colaborativa e continuada.

Importante frisar que toda esta estrutura, baseada na reutilização pode ser disponibilizada na Internet, podendo estas bases de conhecimento, virem a ser negociadas, virando moeda corrente entre empresas e sistemas.

Este fato deve ser considerado, pois a Comunidade Européia pelo projeto ESPRIT nº 27169 está desenvolvendo o projeto IBROW 3 (*An Intelligent Brokering Service for Knowledge Component Reuse on the World Wide Web*).

O resultado do IBROW 3 será um corretor que poderá manusear requisitos de usuários ou classes de sistemas de conhecimento (por exemplo sistemas de diagnóstico) pelo acesso a livrarias, de métodos de solução de problemas reutilizáveis na *WEB*, selecionando, adaptando e configurando estes métodos de acordo com os problemas e domínios dos usuários.

CAPÍTULO 6 - METODOLOGIA PROPOSTA

Resumo: Este capítulo apresenta a metodologia proposta para incorporação de conhecimento intensivo nas tarefas de RCM aplicadas em ativos de sistemas elétricos. É constituída das seguintes fases:

- 1ª) Extração do conhecimento inerente aos ativos
- 2ª) Explicitação dos conhecimentos intensivos dos ativos na forma de tarefas
- 3ª) Modelagem das tarefas de RCM e seus conhecimentos intensivos para construção de uma base de conhecimento customizada

6.1 INTRODUÇÃO

A metodologia proposta tem por objetivo agregar o conhecimento intensivo às tarefas advindas dos critérios estabelecidos para um processo de RCM (Manutenção Centrada na Confiabilidade) e com o suporte da estrutura do CommonKADS, disponibilizá-las de forma padronizada e integrada, aos ambientes da empresa, em especial os de tomada de decisão.

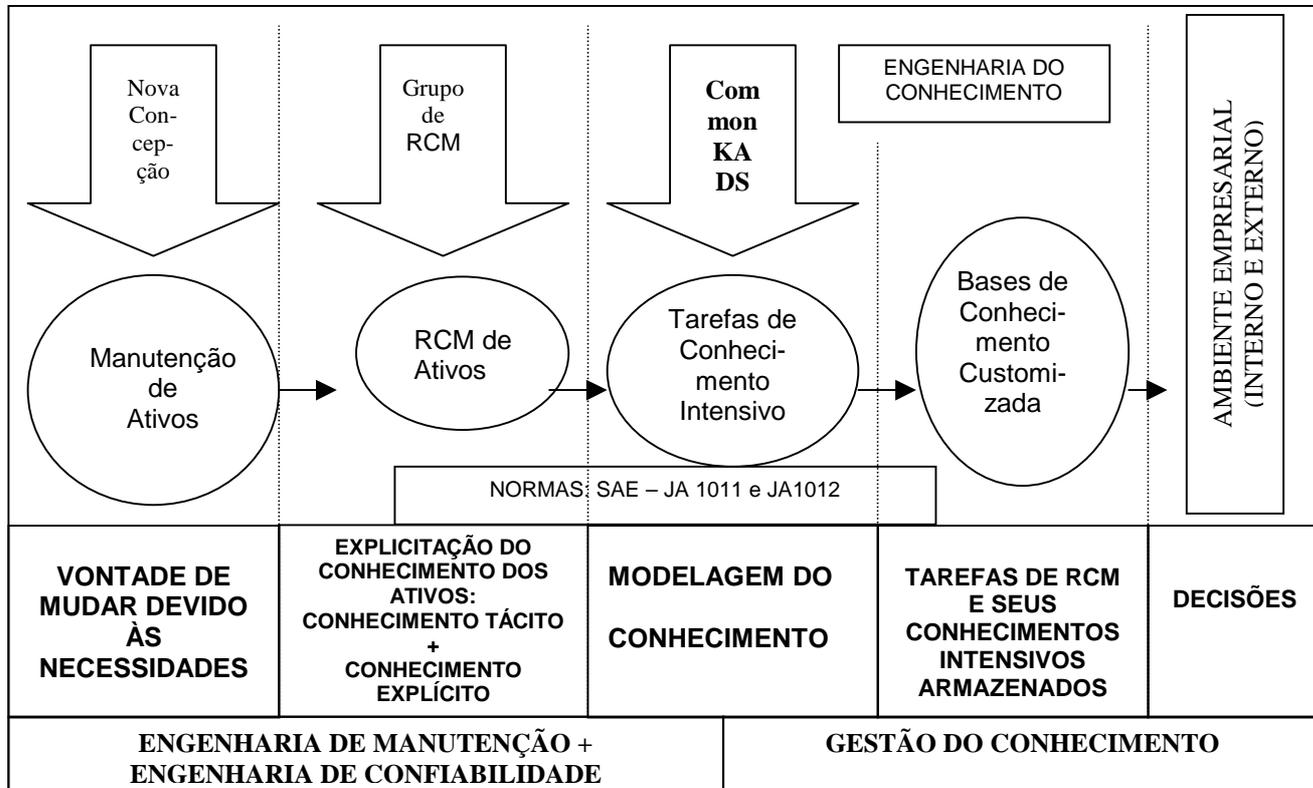


Figura 6.1: Metodologia Proposta

A RCM é uma metodologia científica de fazer manutenção, que foi desenvolvida a partir da década de 60, mas seus critérios e considerações só foram normatizados, respectivamente, em 1999 e 2002, pela SAE¹⁹ dos Estados Unidos (Normas SAE – JA1011 e SAE-JA1012).

O processo da RCM como proposto nas normas e praticado pela RCM II de Moubray (1997), constitui-se num processo altamente eficaz de extração do conhecimento dos ativos nos aspectos de segurança, meio ambiente, operacional e não-operacional. Este processo está centrado no humano e não deve ser dirigido por software, conforme razões apresentadas por Moubray (1997, p.211) e Norma SAE-JA1012 (p.54).

Schreiber (apud Wielinga 2000, p.187) explicita aquisição do conhecimento da seguinte forma:

Knowledge elicitation comprises a set of techniques and methods that attempt to elicit knowledge of domain specialist through some form of direct interaction with that expert. The domain specialist, usually called the expert is a person that possesses knowledge about solving the application task we are interested in.

Conforme visto no capítulo anterior e corroborado por uma expressiva referência bibliográfica, o campo da Aquisição do Conhecimento, englobando as técnicas de extração em referência, tem recebido, na atualidade, considerável atenção pela engenharia do conhecimento.

Espera-se com este trabalho, que o processo RCM para extração do conhecimento como evidenciado no item 6.2, venha a trazer contribuições às técnicas vigentes.

O CommonKADS corresponde a uma metodologia de última geração da engenharia do conhecimento, centrada no conhecimento intensivo de forma integrada, disponibilizado no âmbito do projeto ESPRIT em 1994, e em processo contínuo de aperfeiçoamento. A concepção principal do seu modelo de conhecimento não é criar grande base de conhecimento que contenha a representação de todas as regras do domínio e sim atomizá-las em conjuntos que compartilhem regras comuns, permitindo reutilização de combinações de

¹⁹ SAE – Society of Automotive Engineers.

elementos na forma de tarefas de conhecimento padronizadas (*templates*), que facilitam de sobremaneira a modelagem do conhecimento.

6.2 FASES DA METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta neste trabalho é constituída de 3 fases, a saber:

Fase 1: Extração do conhecimento inerente aos ativos

Esta fase engloba o levantamento do conhecimento e as habilidades de trato dos ativos dentro da empresa, estruturada pelos critérios estabelecidos para RCM constantes na norma SAE-JA1011 e guiada pelas considerações constantes na norma SAE-JA1012.

Fase 2: Explicitação dos conhecimentos intensivos dos ativos na forma de tarefas.

Nesta fase ocorre o preenchimento do algoritmo de RCM segundo a orientação da norma SAE-1012, estabelecendo as tarefas de conhecimento intensivo de RCM, utilizadas na solução dos problemas dos ativos.

Fase 3: Modelagem do Conhecimento das Tarefas de RCM.

Nesta fase modelam-se as tarefas de RCM e seus conhecimentos intensivos utilizando o sistema CommonKADS.

6.2.1 Extração do Conhecimento inerente aos Ativos

Esta fase da metodologia proposta está alicerçada nos critérios estabelecidos para RCM constantes na norma SAE-JA1011, guiada pelas considerações constantes na norma SAE-1012 e por diretrizes para formação de grupos de RCM defendidos por Moubray (1997, p.16-18).

As referências acima mostram que o processo de RCM está centrado num grupo ou pessoa que reivindicará os recursos humanos e materiais necessários para implantação do processo, que engloba:

- priorização dos ativos e estabelecimento de objetivos
- planejamento de todas as atividades necessárias

- estabelecimento dos níveis de análise e delimitação dos ativos
- organizar os trabalhos do grupo
- promover treinamento
- saber até onde empregar sistema computacional ao processo
- obter os dados e análises adequadas de falha.

Moubray explicita de forma detalhada o grupo ideal para os trabalhos de RCM, que servirá de modelo para esta tese.

Feitas estas considerações iniciais, a estruturação da fase 1 compreende três etapas, a saber:

1ª) Formação de um grupo de RCM (decisão gerencial da empresa)

A proposta de tese está voltada para ativos de sistemas elétricos, e como RCM analisa a função do ativo no contexto de operação, os membros básicos deste grupo devem ser da área de manutenção e operação, conforme figura a seguir:

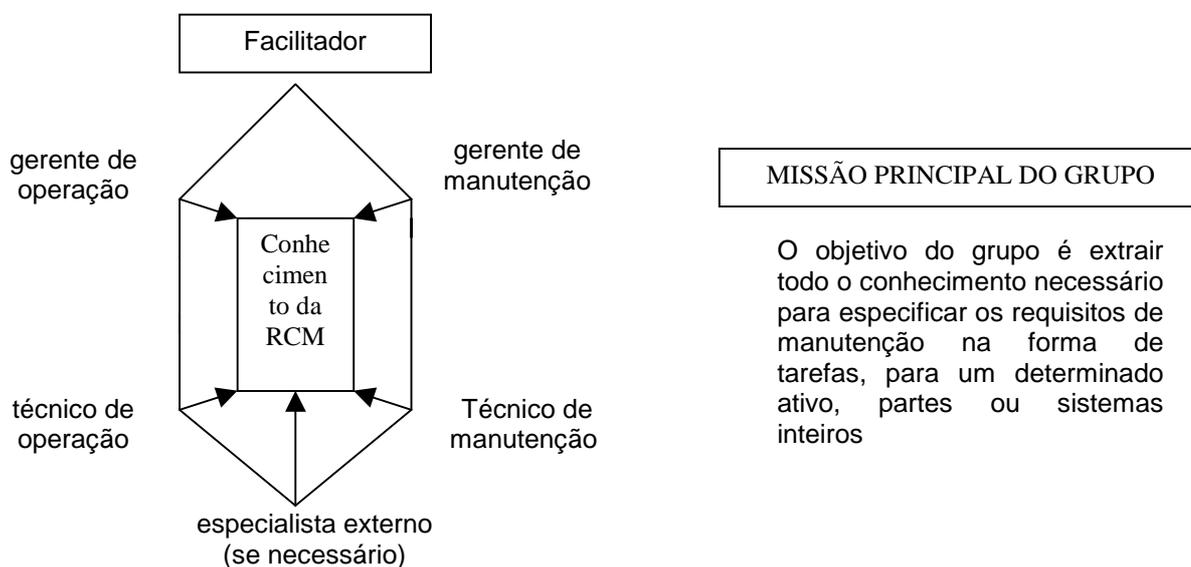


Figura 6.2: O grupo de RCM
Fonte: Moubray (1997, p.267)

No modelo de Moubray (1997, p.17) os facilitadores são as pessoas mais importantes no processo de RCM. O papel dele é garantir que:

- o processo de RCM seja aplicado corretamente (isto é, que as sete perguntas que são o núcleo da RCM, sejam feitas corretamente na seqüência prevista e que sejam compreendidas corretamente por cada membro do grupo).

- os membros do grupo (especialmente o pessoal de operação e manutenção) cheguem a um consenso sobre quais são as respostas para as perguntas

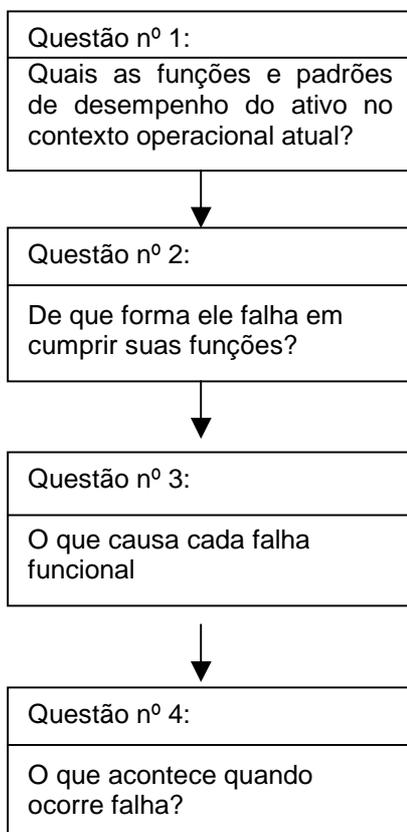
- nenhum equipamento ou componente significativo seja ignorado

- as reuniões progridam de forma rápida

- todos os documentos do RCM estejam concluídos corretamente (preenchimento das planilhas de RCM)

2ª) Obter as respostas das quatro primeiras questões básicas

Com o grupo de RCM constituído, segundo por exemplo o modelo acima, e com todos os recursos mencionados anteriormente, responder as questões básicas a seguir (Norma SAE-JA1011):



este passo consiste em definir as funções do ativo no contexto operacional, junto com os padrões de desempenho desejados.
(palavra-chave: funções)

este passo consiste em determinar as falhas que conduzem à paralisação total ou parcial das funções requeridas para os ativos
(palavra-chave: falhas funcionais)

este passo consiste em Identificar todos os eventos que são razoavelmente prováveis de causar estado de falha
(palavra-chave: modos de falha)

este passo implica em listar os efeitos da falha, quando ocorre cada modo de falha.
(palavra-chave: efeito de falha)

3ª) Elaboração pelo grupo de RCM de planilha com o levantamento das quatro primeiras questões básicas sobre o ativo em análise.

Esta planilha deve conter em detalhes todas as informações inerentes às funções, falhas funcionais, modos de falha efeitos de falha relativos ao ativo em análise, conforme diretrizes constantes na SAE-JA1012 (p.8-19). A junção das questões 3 e 4 constituem parte da FMEA (*failure mode and effect analysis*).

6.2.2 Explicitação dos Conhecimentos dos Ativos na Forma de Tarefas

As três últimas questões básicas no processo de RCM exigem a seleção de uma política de gerenciamento de falha para cada modo de falha identificado na FMEA da fase anterior.

A norma SAE-JA1012 (p.74) apresenta duas propostas para seleção desta política. A primeira uma proposta rigorosa que produz uma política de gerenciamento de falha de custo altamente otimizado para cada modo de falha da FMEA e a segunda um diagrama de decisão que constitui numa aplicação mais rápida e barata, sem, contudo implicar em sub-otimização para a política de gerenciamento de falhas.

Neste trabalho optou-se pela aplicação do diagrama de decisão (ou algoritmo de decisão RCM), como apresentado pela norma SAE-JA1012 (p.47-48).

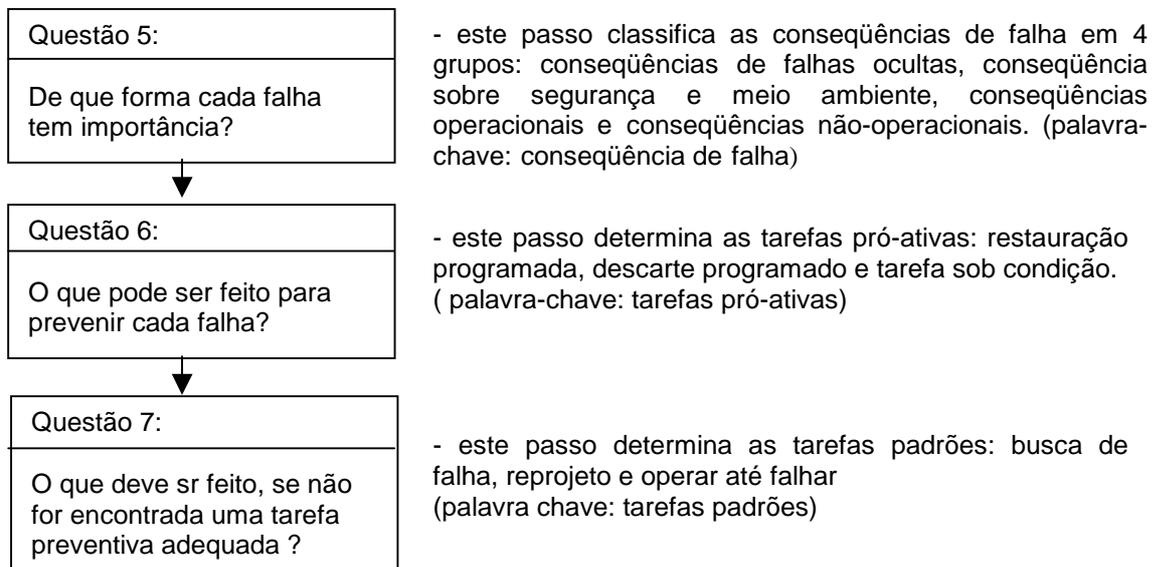
A fase 2 compreende três etapas assim constituídas:

1ª) Estruturação pelo grupo de RCM de um diagrama de decisão conforme exemplo proposto na norma SAE-JA1012, sintetizado na Figura 6.3 e apresentado de forma integral para o caso da SQL/ALADON no anexo 6 deste trabalho.

Após estabelecimento deste diagrama e com planilha elaborada na primeira fase, executar a etapa a seguir:

2ª) O grupo de RCM deve responder as três últimas questões básicas do processo de RCM, utilizando o diagrama de decisão, com a finalidade de obter as tarefas de manutenção que resolvem os problemas do ativo.

As três últimas questões básicas a serem respondidas são (Norma SAE-JA1011):



Planilha 1

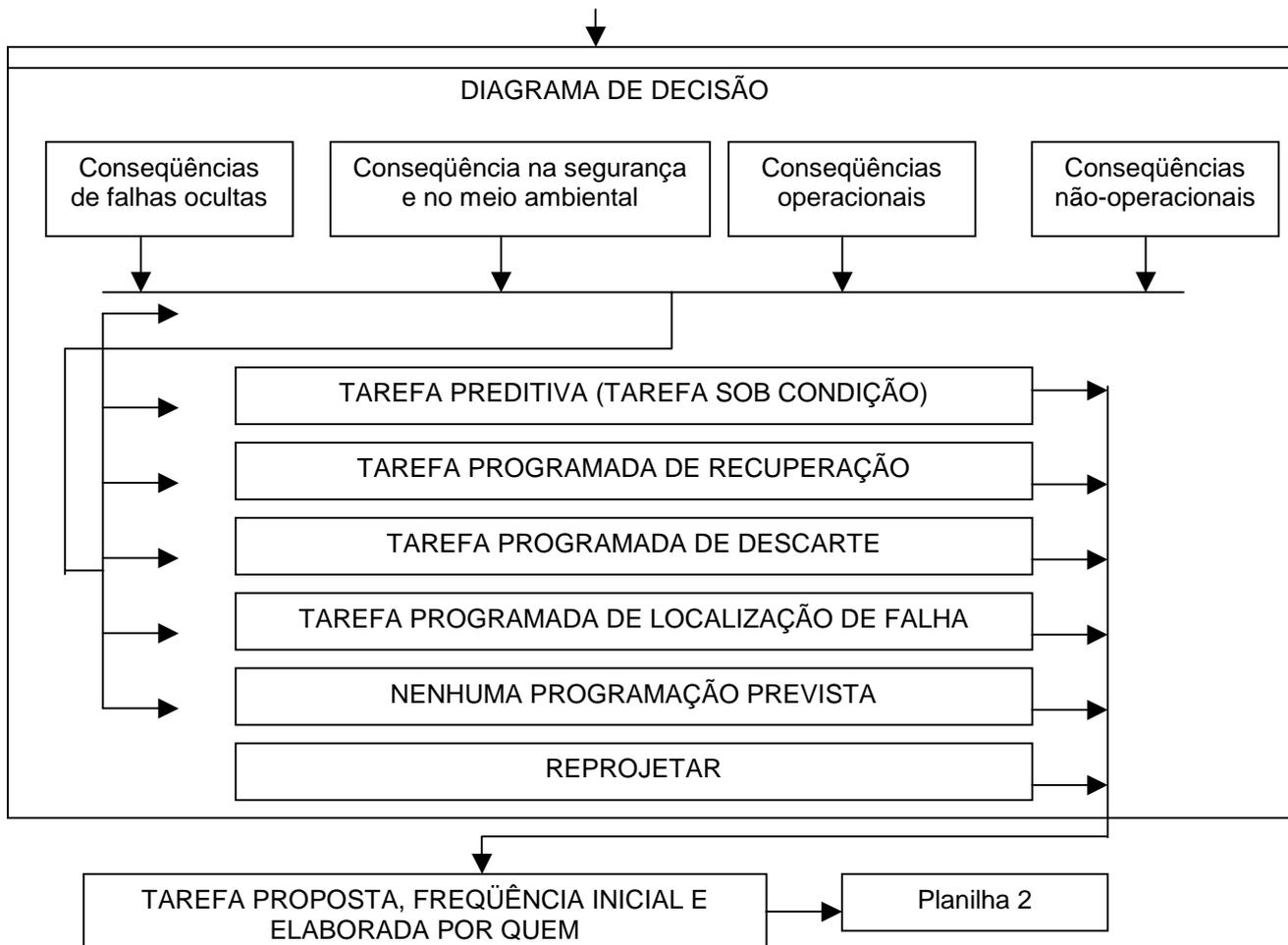


Figura 6.3: Diagrama de Decisão RCM

3º) Elaboração pelo grupo de RCM de planilha com todos os dados das avaliações das conseqüências de falhas, tarefas estabelecidas, periodicidade de elaboração e quem vai realizá-la.

A Figura 6.4 a seguir, sintetiza as práticas das fases 1 e 2 desta metodologia, que servirão de entrada para modelagem do conhecimento do(s) ativos, objeto da 3ª fase da metodologia.

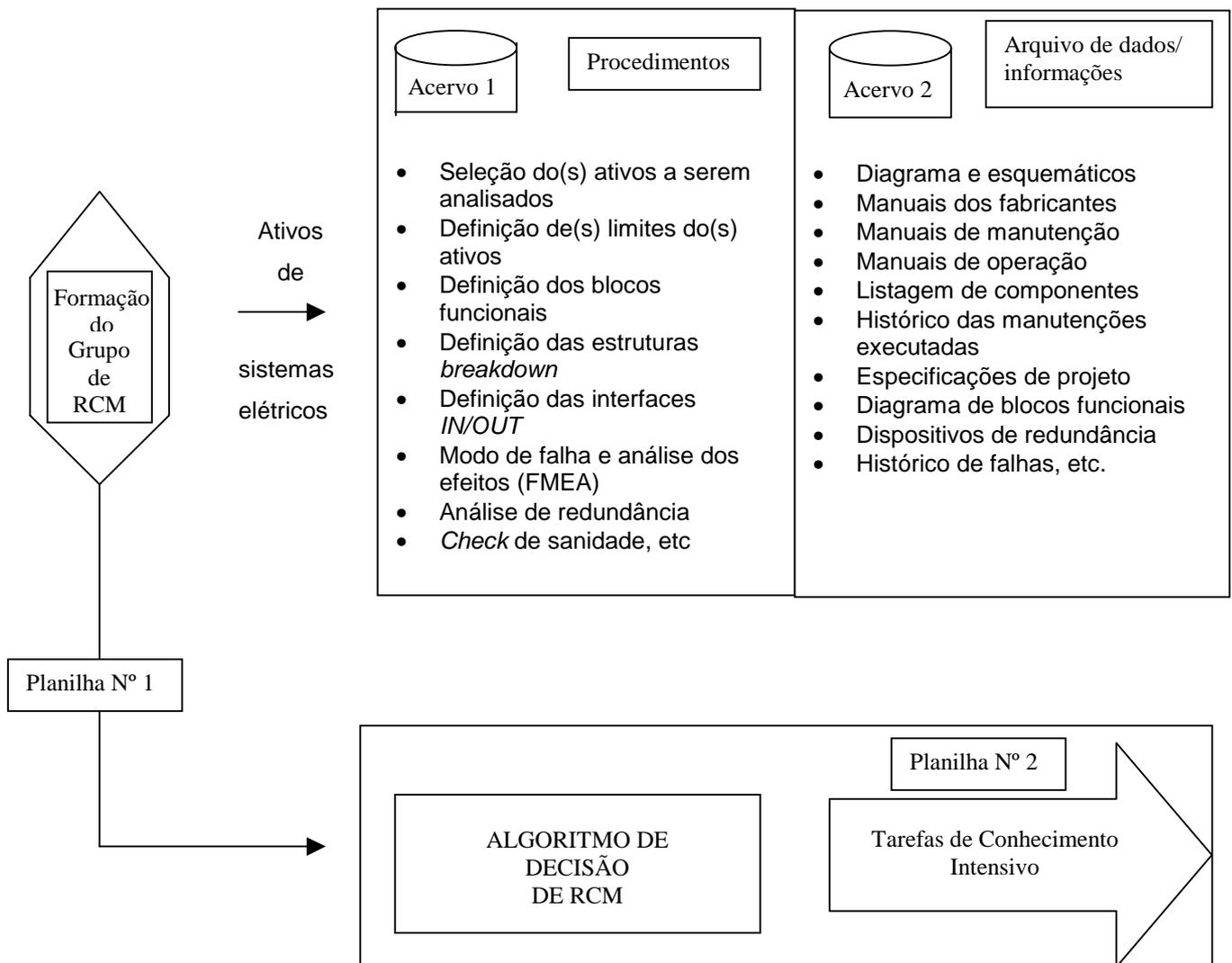


Figura 6.4: Macrovisão da obtenção das tarefas de conhecimento intensivo dos ativos pelo grupo de RCM.

6.2.3 Modelando o Conhecimento das Tarefas de RCM

Neste estágio o grupo de RCM é desfeito pois toda a estrutura das fases anteriores objetivou a extração do conhecimento, daí por diante quem dará prosseguimento aos trabalhos será o engenheiro do conhecimento.

Segundo Abel (2002, p.61), este personagem deve exercer o duplo papel de compreender o domínio da informação, para interagir com os detentores do conhecimento, e deve possuir o conhecimento necessário sobre computação, linguagens e ferramentas de inteligência artificial para selecionar o melhor ambiente e forma de implementar o sistema.

Esta fase da metodologia está baseada nos estudos de Wielinga e Schreiber (1998, p.01-15) sobre Construção de Modelos de Conhecimento, que posteriormente foram incorporados na referência Wielinga (2000, p.167-214).

A transformação das tarefas de RCM e seus conhecimentos numa base de conhecimento customizada passa pelo processo de construção de um modelo de conhecimento que pode ser decomposto em três estágios principais:

- (I) Identificação do conhecimento
- (II) Especificação do conhecimento
- (III) Refinamento do conhecimento

A Figura 6.5 fornece uma visão geral dos três principais estágios na construção do modelo de conhecimento.

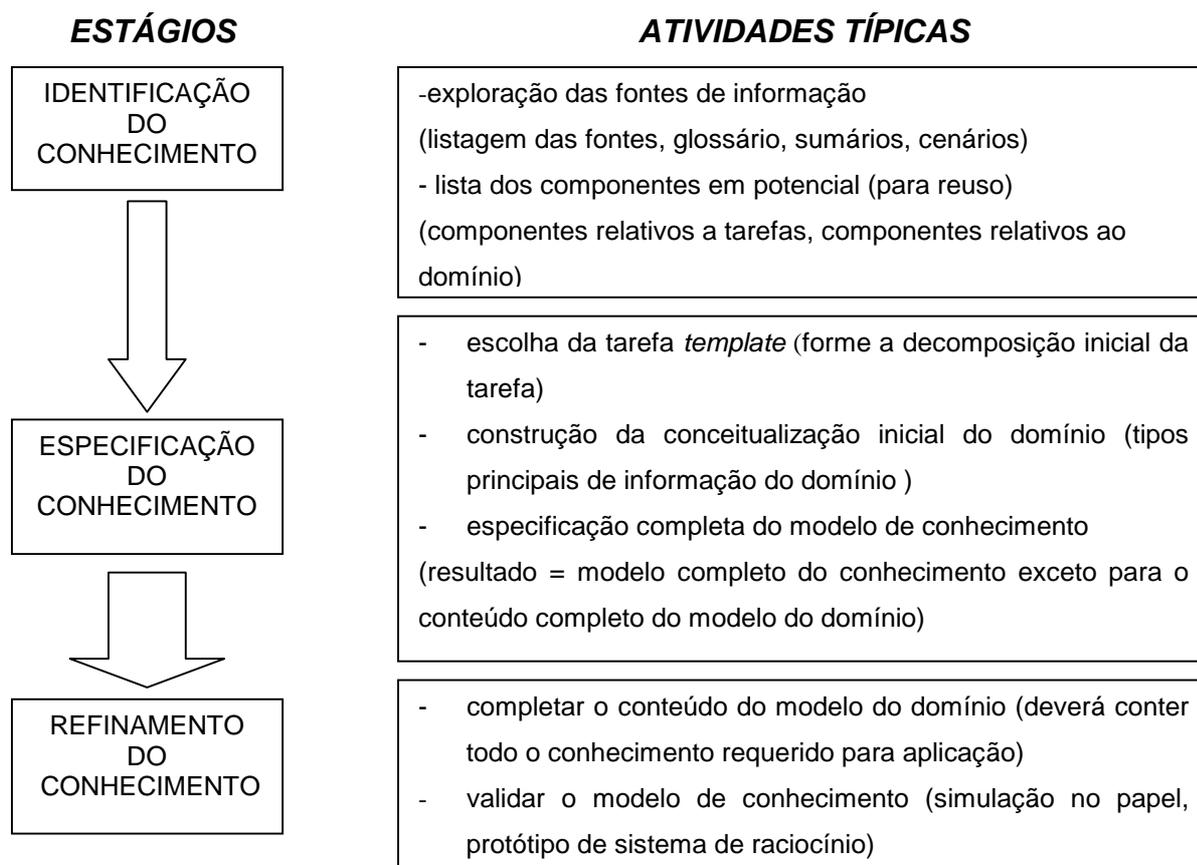


Figura 6.5: Visão geral dos três principais estágios na construção do modelo de conhecimento
Fonte: Schreiber (1998, p.03)

1º) Identificação do conhecimento contido nas Tarefas de RCM

A premissa principal para se começar a construção do modelo de conhecimento é que as tarefas de conhecimento intensivo já estejam selecionadas e identificados os principais itens do conhecimento que envolvem estas tarefas.

Este estágio da construção do modelo de conhecimento é plenamente subsidiado pela extração do conhecimento introduzido pelo processo de RCM (fases 1 e 2) e é composto pelas atividades típicas mostradas na figura nº 6.4.

Sumarizando, tem-se:

<i>Atividade 1.1</i>	<i>Exploração das fontes de informação</i>
Objetivo	Desenvolver bom entendimento do processo de solução dos problemas, inclusive em nível global
Técnicas	- análise do grupo de RCM
Resultados	- lista de fontes de informação - sumário de textos chaves cenários - glossário dos termos do domínio

<i>Atividade 1.2</i>	<i>Lista de Componentes em Potencial</i>
Objetivo	Prepare os componentes do modelo de conhecimento para reuso
Técnicas	Pesquise com índices os catálogos disponíveis, ambos para tarefas <i>templates</i> e ontologia
Resultados	Uma lista ordenada de potenciais tarefas <i>templates</i> reutilizáveis, ontologias e bases de conhecimento

2º) Especificação do Conhecimento contido nas Tarefas de RCM

Este estágio objetiva obter uma completa especificação do conhecimento, exceto do modelo do domínio: eles somente podem conter alguns exemplos de instâncias de conhecimento.

As atividades típicas são:

<i>Atividade 2.1</i>	<i>Escolha da tarefa template</i>
Objetivo	Selecione a tarefa template adequada
Técnicas	Mescle características de aplicação com tarefas <i>templates</i> de bancos de templates disponíveis
Resultados	Escolha da tarefa <i>template</i>

<i>Atividade 2.2</i>	<i>Construção inicial da Conceitualização do Domínio</i>
Objetivo	Construa um método para modelar o domínio
Técnicas	Reuso (parcial) dos modelos de dados existentes; padronize técnicas estruturadas de extração
Resultados	Primeira versão de parte do domínio específico do esquema de domínio do conhecimento

Atividade 2.3	Completar a especificação do modelo do conhecimento
Objetivo	Obter a especificação completa do modelo de conhecimento
Técnicas	<p><u>Roteiro 1: Middle-out (Do meio para fora)</u> Começa com o conhecimento da inferência, e completa o conhecimento da tarefa e o conhecimento do domínio, pela inclusão das funções de mapeamento inferência-domínio.</p> <p><u>Roteiro 2: Middle-in (para o meio)</u> Começa em paralelo com a decomposição da tarefa em sub-tarefas, enquanto ao mesmo tempo refinando o conhecimento do domínio para compatibilizá-los com as necessidades das sub-tarefas. Os dois extremos se reúnem através dos mapeamentos inferência-domínio.</p>
Resultado	Modelo completo do conhecimento, exceto para o conteúdo do modelo do domínio

A proposta Middle-in pode ser resumida na figura abaixo:

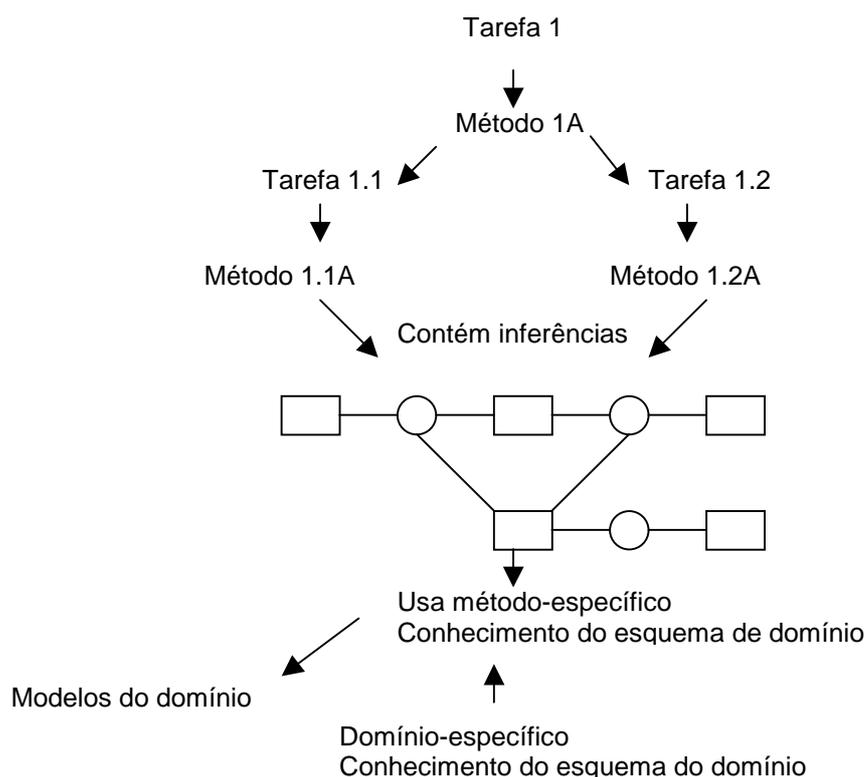


Figura 6.6: Proposta *Middle-in* para completar o modelo do conhecimento
Fonte: Wielinga (1998, p.08)

3º) Refinamento do Conhecimento contido nas Tarefas de RCM

Neste estágio final tenta-se validar o modelo de conhecimento, tanto quanto possível e completar a base de conhecimento pela inserção de conjuntos completos de instâncias de conhecimento.

As atividades típicas são:

<i>Atividade 3.1</i>	<i>Preencher os conteúdos dos domínios</i>
Objetivo	Completar a base de conhecimento incluindo instâncias necessárias à execução da tarefa em questão
Técnicas	Uso de editores de conhecimento
Resultados	Preenchimento dos conteúdos dos domínios do modelo

<i>Atividade 3.2</i>	<i>Validação do modelo de conhecimento</i>
Objetivo	Validar o modelo de conhecimento
Técnicas	1 - Simulação no papel: Define um número de cenários típicos que refletem o comportamento do sistema requerido e usar o modelo de conhecimento para gerar uma simulação no papel do cenário em termos dos construtores do modelo de conhecimento 2 – Simulação usando um modelo de estudo (<i>mock-up system</i>) Protótipo do sistema de raciocínio
Resultado	Check da consistência do modelo de conhecimento

O resultado da construção do modelo de conhecimento é uma descrição especificada com os construtores textuais e gráficos fornecidos pela linguagem de Modelagem Conceitual do CommonKADS (CML2), acompanhada das seguintes informações adicionais:

1. Uma lista com todas as fontes de informação utilizadas
2. Uma lista dos termos do domínio com definições (=glossário)
3. Uma lista dos componentes do modelo que foram considerados para reutilização mais as correspondentes decisões e raciocínios.
4. Conjunto de cenários para solução do problema de aplicação.
5. Resultados das simulações consideradas durante a validação.
6. Todo material da extração do conhecimento.

6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme mostrado no capítulo 4, uma metodologia de gestão do conhecimento pode ser orientada por um ciclo de cinco fases. Este trabalho atingiu até a terceira fase no item modelagem. A complementação desta terceira fase e o desenvolvimento das demais fazem parte de um projeto a ser desenvolvido a posteriori.

CAPÍTULO 7 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Resumo: Este capítulo descreve detalhadamente a metodologia proposta e implementada numa estrutura que reuniu dados referentes à dois casos reais de aplicação de RCM. Foram baseados na experiência de Furnas Centrais Elétricas e de SQL Systems do Brasil²⁰ associada da Aladon²¹.

7.1 INTRODUÇÃO

A dificuldade em se encontrar ou produzir dados práticos de aplicação completa de RCM é bem expresso no trabalho de Castro (1997, p.01), quando diz:

Ultimamente virou moda falar em Confiabilidade na Manutenção, mas o difícil é conduzir de forma disciplinada, consistente e sistematizada sua efetiva implementação. Aliás, as plantas industriais em todo o mundo podem ser classificadas em duas categorias: aquelas que falam e implementam confiabilidade e aquelas que falam, mas não implementam confiabilidade. Lamentavelmente o segundo grupo é muito maior que o primeiro...

Este comentário explica a dificuldade acima mencionada. Deste modo foi utilizada neste trabalho a reunião de dois casos reais de aplicação de RCM. O primeiro refere-se ao projeto piloto de RCM aplicado à subestação de Adrianópolis - setor de 500KV (Vizzoni, 1999. TT 048). Este caso mostra todo o processo de RCM documentado até o efeito de falha por cada modo, mas não chega no ponto primordial de estabelecer as tarefas de RCM.

O segundo caso foi apresentado pela SQL Systems (2000) aplicado numa instalação industrial do ramo petroquímico que muito se assemelha às instalações parciais de uma usina termoeletrica. Contém as planilhas de RCM inteiramente documentadas, porém foi omitido em todo o trabalho do grupo de

²⁰ SQL Systems do Brasil LTDA – www.sqlbrasil.com.br

²¹ ALADON – www.aladon.co.uk

RCM. Fazendo-se a conjunção dos dois processos, foi possível de forma global analisar detalhadamente toda a metodologia proposta.

7.2 EXTRAÇÃO DO CONHECIMENTO INERENTE AOS ATIVOS

Conforme explicitado no item 6.2.1 deste trabalho, a metodologia proposta está alicerçada nos critérios estabelecidos para RCM constantes na norma SAE-JA 1011, guiada pelas considerações da norma SAE-JA 1012 e por diretrizes para formação de grupos de RCM defendidos por Moubray.

O caso base apresentado pela SQL Systems e constante no anexo 4, já fornece os dados analisados omitindo toda a estruturação do grupo RCM, seu trabalho e organização. Neste sentido, a título de ilustração, conhecimento e validação da metodologia, utilizou-se a experiência de Furnas Centrais Elétricas no seu projeto piloto da Subestação de 500kv de Adrianópolis, que se encontra no anexo 3.

7.2.1 Formação do grupo de RCM

Vizzoni (1999, p.02-03) descreve o projeto piloto de RCM no setor de 500 kv de Adrianópolis:

Um dos pontos enfatizados pela MCC²² é a importância da formação de grupos que congreguem profissionais com vivência nas áreas de manutenção e operação de sistemas a serem analisados. De acordo com isto, para o desenvolvimento do projeto – subestação de Adrianópolis – Setor de 5000kv, foi formado um grupo de trabalho composto pelos autores supracitados, com a participação eventual de outros profissionais.

Os componentes do grupo de trabalho são engenheiros, técnicos e operadores com bastante experiência. Nem todos tinham bom conhecimento das bases da MCC, mas bastaram umas poucas palestras e discussões para equalização desse conhecimento entre os participantes do grupo. O trabalho foi desenvolvido em reuniões regulares, cujos resultados foram registrados cuidadosamente. Os resultados aqui apresentados correspondem à primeira fase do

²² MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade, equivalente ao RCM

trabalho, à qual se seguirá a fase definitiva, quando todo o processo é revisto. Nesta Segunda fase é que serão feitas sugestões formais para a introdução de novas tecnologias, métodos e procedimentos de manutenção.

A Subestação de Adrianópolis (STAD.O), em Nova Iguaçu, Estado do Rio de Janeiro, tem potência instalada de 179MVA, com tensões 500/345/138kv. Dentre os setores que a compõem, selecionamos o de 500kv (Anexo 3) por serem representativos de todos os setores dessa tensão nas subestações de Furnas. Outra razão é o interesse especial que as seccionadoras têm merecido por parte da Manutenção face ao número de defeitos que tem apresentado.

O grupo mencionado por Vizzoni, foi assim constituído:

- engenheiro eletricista da Assessoria de Programas e Métodos de Manutenção de Furnas
- técnico em edificações, operador da Subestação de Adrianópolis
- engenheiro eletrônico, supervisor de produção do Departamento de Produção
- engenheiro eletricista do Departamento de Produção
- engenheiro eletricista do Departamento de Equipamentos de Alta Tensão
- engenheiro mecânico do Departamento de Equipamentos de Alta Tensão

7.2.1.1 Outros passos importantes

O grupo de RCM deve ainda executar outros passos, antes de obter as respostas das quatro primeiras questões básicas do processo de RCM. Isto é, intrínseco a cada caso. Especificamente no projeto piloto de Furnas, o grupo estabeleceu os seguintes

- definição das fronteiras do Sistema
- descrição do sistema/diagrama de blocos funcionais
- dispositivos de Redundância/Proteção/Instrumentos/Medidores
- listagem de equipamentos do sistema

- histórico de falhas dos Equipamentos e seus modos de falha

7.2.2 Obtenção das respostas das 4 primeiras questões básicas:

A partir deste ponto utiliza-se o caso desenvolvido pela SQL Systems do Brasil LTDA associada da Aladon, que se encontra no anexo 4 sendo completo a partir deste ponto. As 4 primeiras questões básicas, segundo a norma SAE-JA 1011 e constantes no item 6.2.1, são as seguintes:

Questão nº 1: Quais as funções e padrões de desempenho do ativo no contexto operacional atual?

Questão nº 2: De que forma ele falha em cumprir suas funções?

Questão nº 3: O que causa cada falha funcional?

Questão nº 4: O que acontece quando ocorre a falha?

7.2.3 Elaboração da planilha nº 1 de RCM

Esta planilha sintetiza todo o trabalho do grupo de RCM em responder as quatro questões básicas, conforme apresentadas na página 144 e totalmente estruturada no anexo 5.

7.3 EXPLICITAÇÃO DOS CONHECIMENTOS DOS ATIVOS NA FORMA DE TAREFAS

Conforme descrito no item 6.2.2, as três últimas questões no processo de RCM exigem a seleção de uma política de gerenciamento de falha para cada modo de falha identificado na fase anterior. No caso da SQL optou-se pela aplicação de um diagrama de decisão, conforme anexo 6.

Esta fase pode então ser desenvolvida em três etapas:

7.3.1 Estruturação do diagrama de decisão

O grupo de RCM deve estruturar o digrama de decisão e com a planilha estabelecida no item anterior, começar a responder as três últimas questões básicas.

7.3.2 Obtenção das respostas das três últimas questões básicas

Estas questões segundo a norma SAE-JA 1011 e constantes no item 6.2.2, são as seguintes:

Questão nº 5: De que forma cada falha tem importância?

Questão nº 6: O que pode ser feito para prevenir cada falha?

Questão nº 7: O que pode ser feito, se não for encontrada uma tarefa preventiva adequada?

7.3.3 Elaboração da planilha nº 2 de RCM

Nesta planilha o grupo de RCM sintetiza todos os dados das avaliações das conseqüências das falhas, tarefas estabelecidas, periodicidade e elaboração e quem vai realizá-la (anexo 7)

7.4 MODELAGEM DO CONHECIMENTO DAS TAREFAS DE RCM

Esta fase da metodologia, conforme descrita nos estudos de Wielinga e Schreiber (1998, p.01-15) sobre Construção de Modelos de Conhecimento e citado no item 6.2.3 será decomposta em 3 estágios a saber:

- Identificação do Conhecimento
- Especificação do Conhecimento
- Refinamento do Conhecimento

A partir deste ponto, quem coordena os trabalhos passa a ser o engenheiro do conhecimento, cujas atribuições foram explícitas no capítulo 6.

7.4.1 Identificação do Conhecimento contido nas Tarefas de RCM

Neste estágio estão afetas duas atividades típicas:

- exploração das fontes de informação (listagem das fontes, glossário, sumários, cenários)
- lista de componentes em potencial (para reuso)

(componentes relativos às tarefas, componentes relativos ao domínio)

7.4.1.1 Atividade de Identificação: exploração das fontes de informação

I. Análise de RCM

- cenário do caso Furnas (anexo 3)
- cenário do caso SQL/ALADON (anexo 4)
- planilha nº 1 de RCM do caso SQL/ALADON (anexo 5)
- planilha nº 2 de RCM do caso SQL/ALADON (anexo 7)
- diagrama de decisão de RCM do caso SQL/ALADON (anexo 6)

II. Relativa a sistemas de conhecimento

- análise do domínio para diagnóstico de um carro (Wielinga, 2000, p.92).
- Exemplos de conhecimento de: domínio, inferências e tarefas constantes em (Wielinga, 2000, p.85-121) e nos anexos 1A, 1B e 2 deste trabalho.
- Análise dos tipos de tarefas *templates* do CommonKADS (Wielinga, 2000, p.125-166).
- Análise de ontologias em Benjamins (1998, p.161-197) e Heijist (2002).
- Análise da CML2 (2002) – *Conceptual Modelling Language*.
- Aplicando livrarias de PSM's em tarefa da vida real. Speel (2002).
- Catalyst – *Use of CommonKADS Methodology in Knowledge Based Systems Development Catalyst* (2002).
- Caso estudo: *The Housing Application* constante em Wielinga (2000, p.241-270)

7.4.1.2 Atividade de Identificação: Lista Potencial dos Componentes do Modelo

Todas as fontes anteriores serviram para que o engenheiro do conhecimento propusesse num primeiro estágio: ontologias possíveis e tarefas *templates* potenciais.

As ontologias possíveis serão construídas com base nos dados contidos nas planilhas de RCM (anexo 5 e 7) e cenário da caso SQL/ALADON (anexo 4).

Com relação às tarefas *templates*, será utilizada a tarefa *DIAGNOSIS*, descrita em Wielinga (2000, p.138-143).

7.4.2 Especificação do conhecimento contido nas tarefas de RCM

Neste estágio estão afetadas 3 atividades típicas

- escolha da tarefa template;
- construção inicial da conceitualização do domínio;
- completar a especificação do modelo de conhecimento;

7.4.2.1 Atividade de especificação: escolha da tarefa template

Para o processo de RCM foi escolhida, conforme citado, a tarefa *DIAGNOSIS*, pelas seguintes razões:

(I) A estrutura de inferência se ajusta adequadamente com o processo de RCM. Uma técnica para estabelecer este ajuste é construir uma estrutura de inferência anotada. Um exemplo é mostrado na figura 7-1.

A tarefa *template DIAGNOSIS* como descrita por Wielinga necessita do tipo da falha e seus efeitos para então procurar e descobrir a causa da falha. Este é um procedimento que pode ser utilizado com os dados constantes na planilha nº1 de RCM, conforme indicado nas Figuras 7.1 e 7.2.

O conhecimento constante na planilha Nº2 de RCM pode ser capturado, por exemplo pela *template Planning*, pois sua estrutura está alicerçada em: dado um objetivo, gerar um plano consistindo de um conjunto ordenado de ações ou atividade para atingir este objetivo. O planejamento de ações reparadoras de 1 falha, como o plano de ações terapêuticas para tratamento de uma doença, são exemplo desta *template*.

No sentido de simplificar toda a investigação relativa a *template PLANNING*, optou-se por relacionar a tarefa de RCM na forma de *sub-type* de modo de falha.

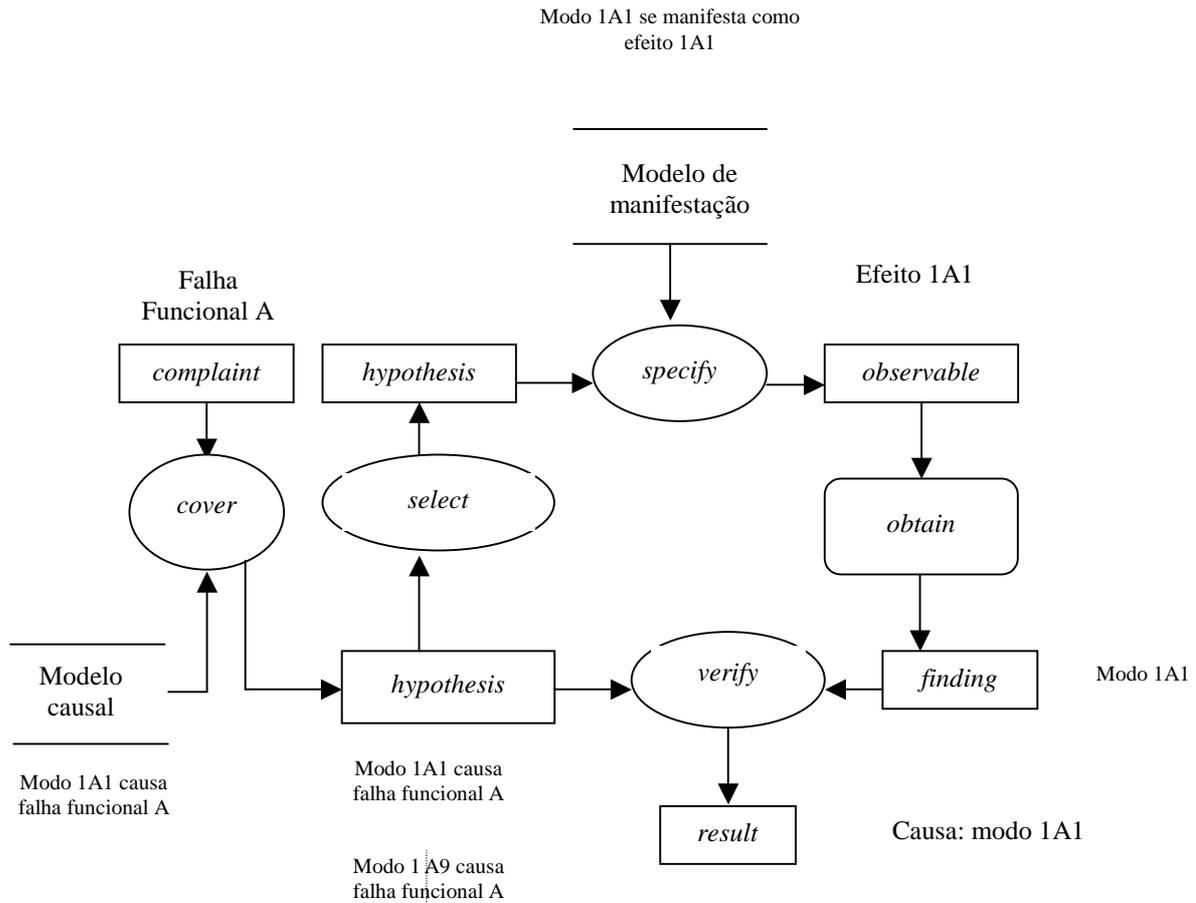


Figura 7.1: Estrutura de inferência anotada da tarefa *DIAGNOSIS*

- *cover, select, specify, verify* – inferências utilizadas na *tarefa template DIAGNOSIS*.
- *complaint, hypothesis, observable, finding e result* – são *roles* para interfaciar as inferências
- *obtain* – função de transferência

Os conceitos de inferências, *roles* e função de transferência estão descritos no capítulo 5.

(II) O esquema do domínio da tarefa *diagnosis* para atender a estrutura de inferência apresentada, também se adequa ao caso de RCM em análise, conforme poderá se verificar no item 7.4.2.2.

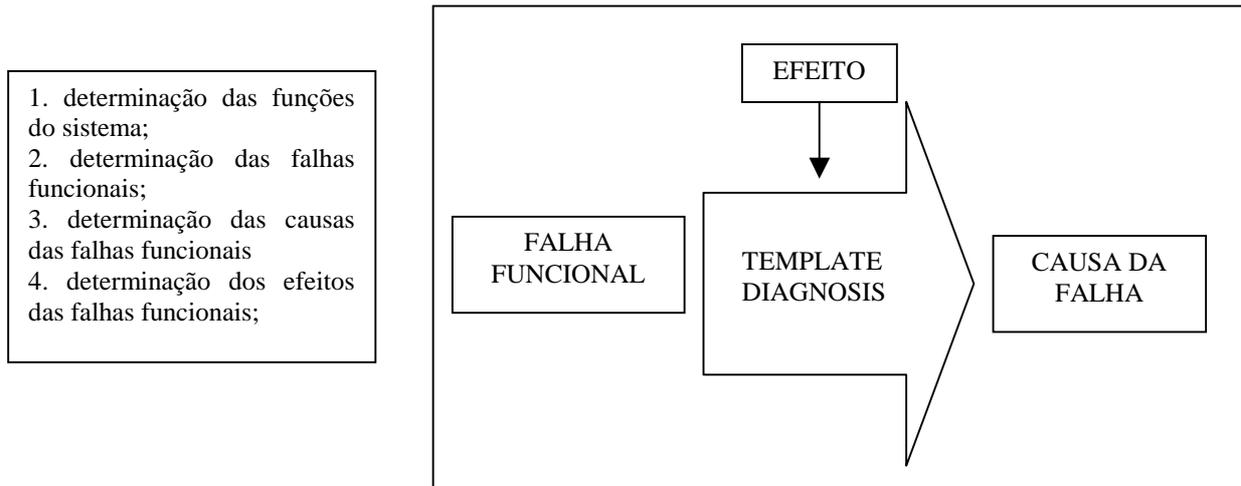


Figura 7.2: Processo de RCM X Tarefa DIAGNOSIS

7.4.2.2 Atividade de especificação: Construção Inicial do Esquema do Domínio

Como sugerido em Schreiber (1998, p.01-15), esta atividade deverá ser executada em paralelo com a escolha da tarefa *template*.

A proposta inicial para o esquema do domínio é apresentada no anexo 8 é a seguinte:

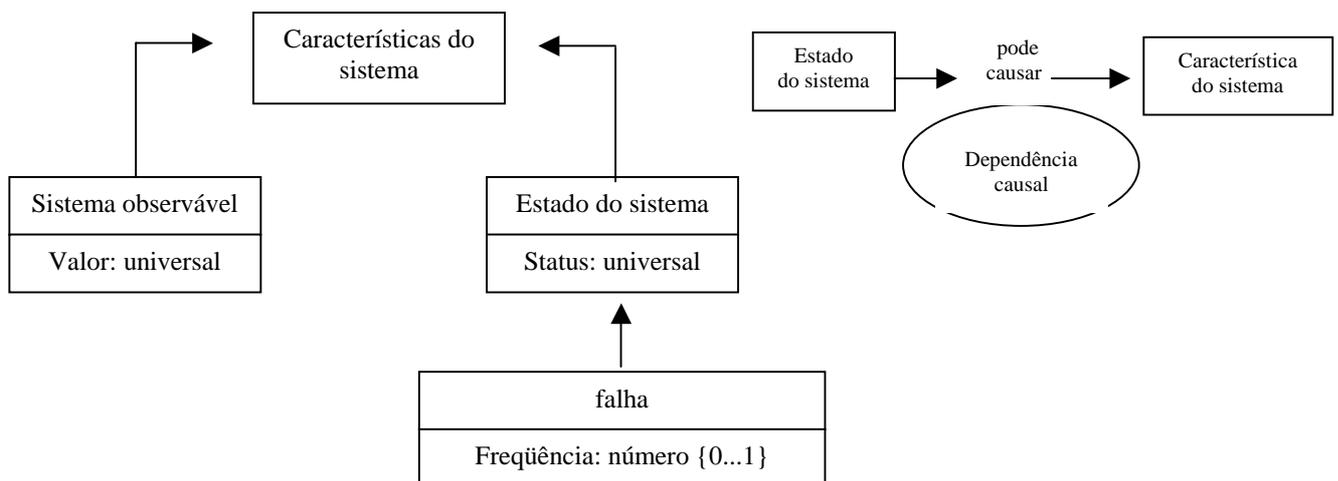


Figura 7.3: Típico esquema do domínio para DIAGNOSIS
 Fonte: Wielinga (2000, p.142)

Típico esquema do domínio

Assume-se que cada sistema que está sendo diagnosticado pode ser caracterizado em termos de um número de características do sistema. Existem 2 tipos de características do sistema, aquelas observáveis (indicação de instrumento, cor, etc) e aquelas que representam um estado interno, indicando por exemplo algum processo de falha). As falhas são definidas como subtipos dos estados internos, não significando que qualquer estado interno deva ser uma falha.

A estrutura do modelo do sistema causal usada pela inferência *cover* e pela *specify* representado como regra do tipo dependência causal. Estes tipos de regras descrevem como o antecedente (alguma expressão sobre o estado interno do sistema) pode causar o conseqüente (alguma expressão sobre a característica do sistema).

No caso de RCM analisado foram introduzidas as seguintes alterações, conforme Figura 7.7:

- 1) O estado do sistema passa a ser estado da função
- 2) O estado da função é desmembrado em dois *sub-types*:
 - 2.a) estado visível constituído por *sub-types*: falhas funcionais
 2. b) estado invisível constituído por *sub-types*: modos de falha
- 3) O sistema observável passa a ser função observável com *sub-types* constituídos pelos efeitos dos modos de falha;
- 4) O modelo causal será detalhado no próximo item;

7.4.2.3 Atividade de especificação: Especificação completa do Modelo de Conhecimento

A tarefa *DIAGNOSIS* propicia uma boa cobertura dos componentes do conhecimento para esta aplicação. O processo de construção deste conhecimento seguiu o roteiro conhecido como “*middle-out*” (do meio para fora): começa com o conhecimento das inferências, e completa com o conhecimento da tarefa e do domínio pela inclusão das funções de mapeamento inferência-domínio.

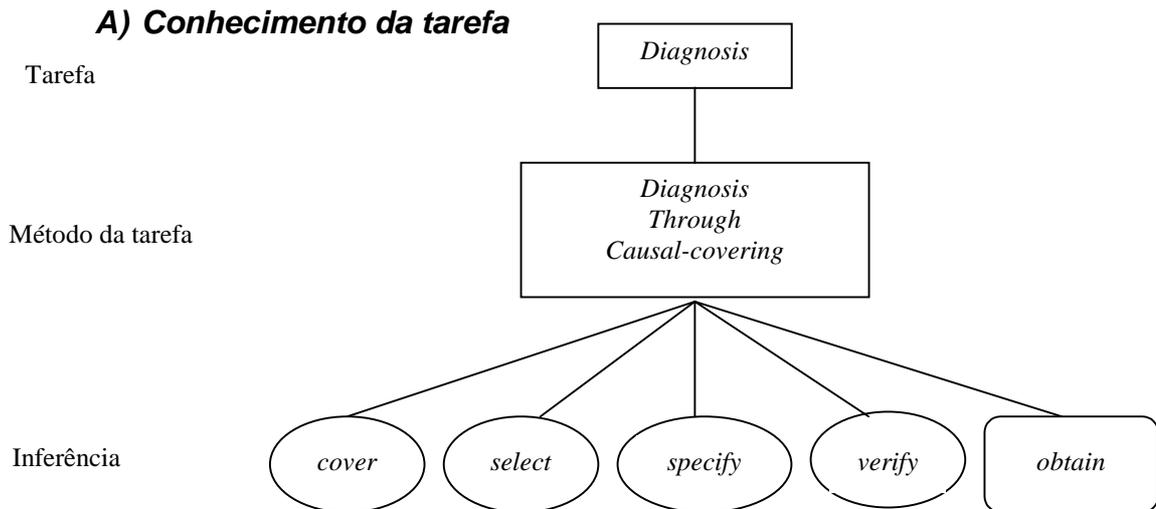


Figura 7.4: Diagrama de decomposição da tarefa *DIAGNOSIS* aplicada ao processo de RCM em análise, mostrando os dois principais tipos de conhecimento da tarefa: tarefa e método da tarefa. Foi utilizado apenas um nível de decomposição.

Fonte: Wielinga (2000, p.113)

O conhecimento da tarefa é uma categoria que descreve objetivo e a estratégia, que será empregada para a realização do objetivo.

Os dois tipos principais de conhecimento de uma TAREFA são: tarefa e método da tarefa. A tarefa define um objetivo de raciocínio em termos de um par de entrada-saída. Exemplo, a tarefa *DIAGNOSIS* tem, tipicamente como entrada a *role COMPLAINT*, e produz como saída uma *role FAULT* mais o suporte de *EVIDENCE*.

O método da tarefa descreve como a tarefa pode ser realizada através da decomposição em sub-funções mais uma estrutura de controle aplicada a estas subfunções. A Figura 7.5 explicita esta descrição.

As Figuras a seguir descrevem na forma textual, em CML2 a tarefa e o método da tarefa *DIAGNOSIS*:

Tarefa:

TASK RCM-diagnosis

ROLES

INPUT:
Complaint: "Finding that initiates the diagnostic process".

OUTPUT:
Faults: "The faults that could have the complaint";
Evidence "the evidence gathered during diagnosis";

SPEC:
"Find a cause that explains the complaint and is consistent with the evidence obtained";

END TASK RCM-diagnosis;

Figura 7.5: Especificação da tarefa *RCM-diagnosis*.
Fonte: Wielinga (2000,p.139)

Características da tarefa:

Objetivo: Descobrir a falha que causa o mal funcionamento do sistema

Terminologia: *Complaint/sympton*: dados que iniciam o processo de diagnóstico.

Hypothesis: uma solução potencial (como uma causa de falha)

Differential: o conjunto de hipóteses ativas.

Finding/evidence: dados adicionais sobre o sistema que está sendo diagnosticado

Fault: a solução descoberta pelo processo de raciocínio do diagnóstico.

Entrada: *Symtoms* (sintomas) e/ou *complaints* (reclamações)

Saída: Falhas mais a evidência obtida pela confirmação das falhas.

A entrada/saída da tarefa, juntamente com as inferências, são especificadas em termos de *roles* funcionais. Existem, contudo duas diferenças principais em relação às inferências:

- (I) Não se inclui *roles* estáticas nas especificações da tarefa. *Roles* estáticas são introduzidas apenas ao nível de inferência.
- (II) Não se especifica mapeamento das *roles* da tarefa na estrutura do domínio. Ele é feito de forma indireta: as *roles* da tarefa são linkadas

às redes de inferência através da estrutura de controle. As *roles* das inferências é que tem mapeamento nos construtos do domínio.

Método da Tarefa

```

TASK-METHOD causal-covering;
  REALIZES: diagnosis;
  DECOMPOSITION:
    INFERENCES: cover, select, specify, verify;
    TRANSFER-FUNCTION: obtain;
  ROLES:
    INTERMEDIATE:
      differential: "active candidate solutions";
      hypothesis: "candidate solution";
      result: "boolean indicating result of the test";
      finding: "data one would normally expect to find";
      observable: "the data actually observed in practice";
    CONTROL-STRUCTURE:
      WHILE NEW-SOLUTION cover (complaint → hypothesis) DO
        differential: = hypothesis ADD differential;
      END WHILE
      REPEAT
        select (differential – hypothesis);
        specify (hypothesis – observable);
        obtain (observable – finding);
        evidence: = finding ADD evidence;
        FOR-EACH hypothesis IN differential DO
          Verify (hypothesis + evidence → result);
          IF result = = false
            THEN differential: = differential SUBTRACT hypothesis;
          END IF
        END FOR-EACH
      UNTIL
        SIZE differential <=1 OR "no more observables left";
      END REPEAT
      Faults: = differential;
  END TASK-METHOD causal-covering;

```

Figura 7.6: Método padrão *causal-covering* para a tarefa *DIAGNOSIS*
 Fonte: Wielinga (2000, p.139)

B) Conhecimento do Domínio

Conforme analisado no item 7.4.2.2 o processo RCM introduziu algumas alterações no típico esquema do domínio proposto em Wielinga (2000, p.142) e constante nas Figuras 7.7 e 7.8.

B.1) Conceitos e relações utilizados do caso SQL/ALADON

A tarefa *DIAGNOSIS* conduziu aos seguintes conceitos:

-estado da função

-estado invisível da função

-estado visível da função

-modo de falha

-falha funcional

-tarefa de RCM

-função observável

-efeito

cujos relacionamentos estão apontados na Figuras 7.7 e 7.8.

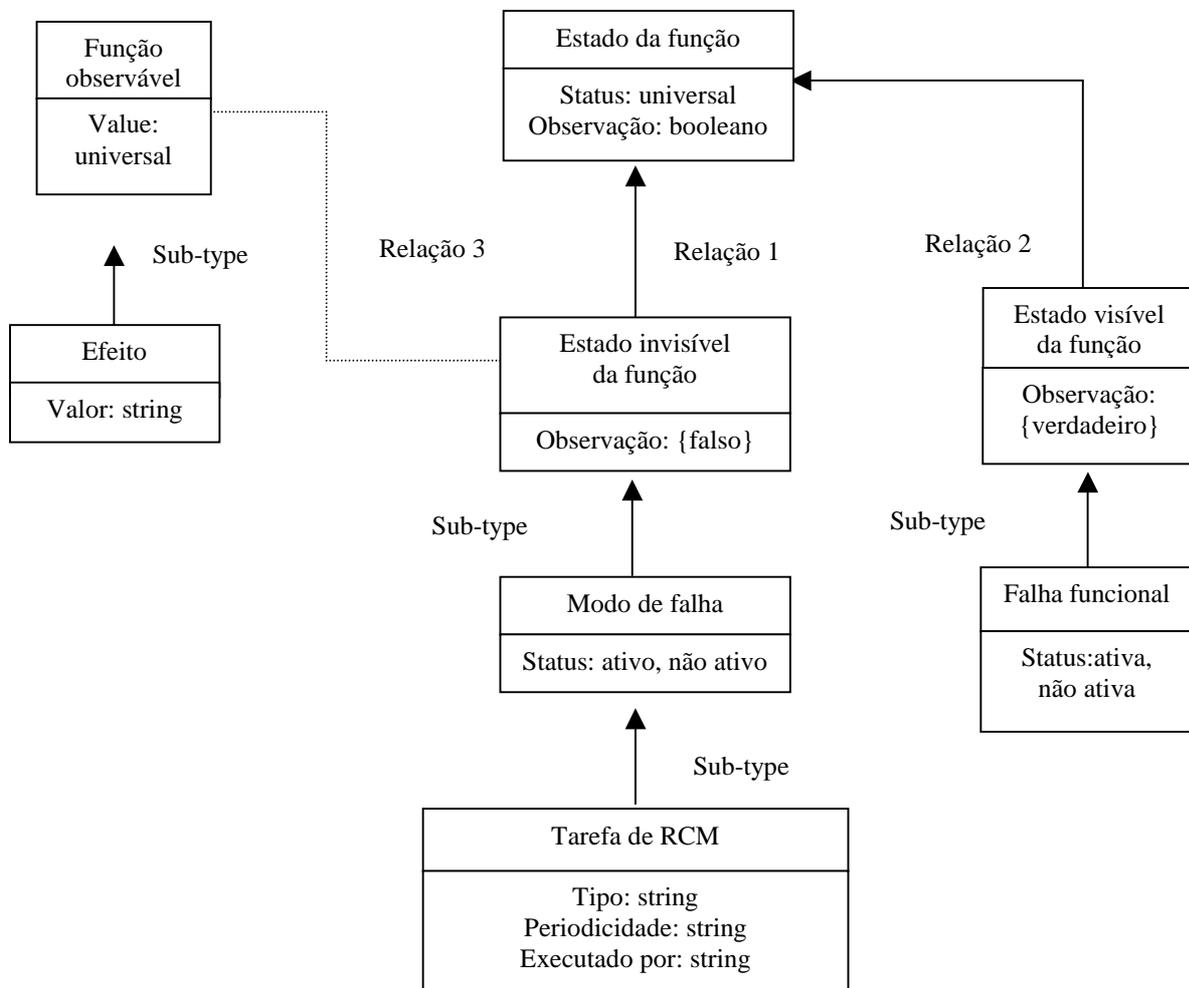


Figura 7.7: Conceitos e relações utilizados no caso SQL/ALADON

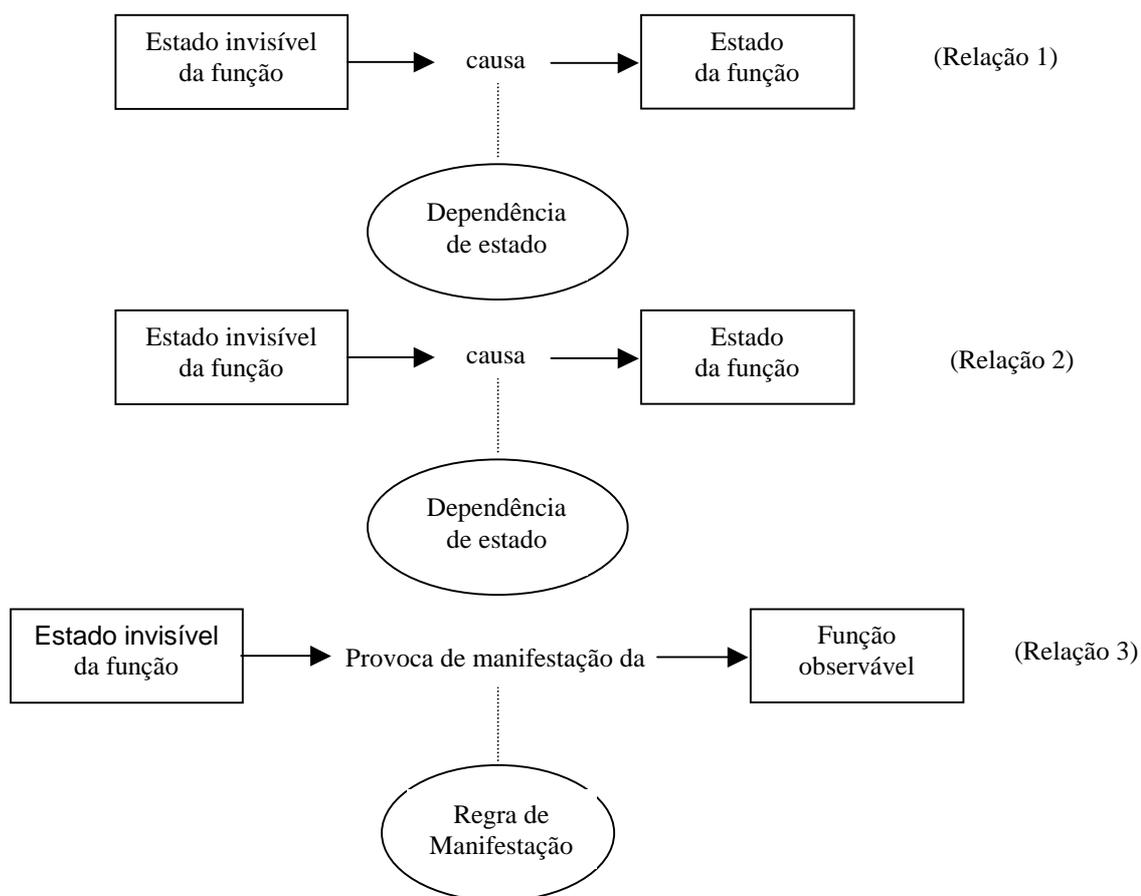


Figura 7.8: Relacionamentos entre os conceitos do caso SQL/ALADON

As expressões destes conceitos e relações na forma textual em CLM2 é:

Estado da função

```

CONCEPT estado da função;
SUPER-TYPE-OF:
    estado invisível da função;
    estado visível da função
ATRIBUTES:
    Status: universal;
    Obervable: booleano;
END CONCEPT estado da função;

```

Estado invisível da função

```

CONCEPT estado invisível da função;
SUPER-TYPE-OF: modo de falha;
VIEWPOINT:
    Maintenance: tarefa de RCM;
ATRIBUTES:
    Observable: false;
END CONCEPT estado invisível da função;

```

Estado visível da função

```

CONCEPT estado visível da função;
  SUPER-TYPE-OF: falha funcional;
  ATTRIBUTES:
    Observação: falso, verdadeiro;
END CONCEPT estado visível da função;

```

Modo de falha

```

CONCEPT modo de falha
  SUB-TYPE-OF: estado invisível da função;
  ATTRIBUTES:
    Status: ativo, não ativo;
END CONCEPT modo de falha;

```

Falha funcional

```

CONCEPT falha funcional
  SUB-TYPE-OF: estado visível da função;
  ATTRIBUTES:
    Status: ativo, não ativo;
END CONCEPT falha funcional

```

Tarefa de RCM

```

CONCEPT tarefa de RCM;
  SUB-TYPE-OF: modo de falha;
  ATTRIBUTES:
    Tipo: string;
    Periodicidade: string;
    Executado por: string;
END CONCEPT tarefa de RCM;

```

Função observável

```

CONCEPT função observável;
  SUPER-TYPE-OF: efeito;
  ATTRIBUTES:
    Valor: universal
END CONCEPT função observável

```

Efeito

```

CONCEPT efeito
  SUB-TYPE-OF: função observável
  ATTRIBUTES:
    Valor: string
END CONCEPT efeito

```

As relações tipo regras e apresentadas na Figura 7.8 são modeladas pelo construto *RULE-TYPE*:

Relação 1

```

RULE TYPE dependência de estado;
  ANTECEDENT estado invisível da função;
  CARDINALITY: 1;
  CONSEQUENT: estado da função;
  CARDINALITY: 1;
  CONECTION-SYMBOL:
    Causa;
END RULE-TYPE dependência de estado;

```

Relação 2

```

RULE TYPE dependência de estado;
  ANTECEDENT estado visível da função;
  CARDINALITY: 1;
  CONSEQUENT: estado da função;
  CARDINALITY: 1;
  CONECTION-SYMBOL:
    Causa;
END RULE-TYPE dependência de estado;

```

Relação 3

```

RULE TYPE regra de manifestação;
  ANTECEDENT estado invisível da função;
  CONSEQUENT: função observável;
  CONECTION-SYMBOL: provoca manifestações da;
END RULE-TYPE regra de manifestação

```

Exemplos de instâncias de conceitos, relações e regras.

Conceitos:

```

CONCEPT estado da função
  ATTRIBUTE:
    Status: universal
    Observable: booleano
END CONCEPT estado da função

```

```

INSTANCE estado da função 1;
  INSTANCE-OF: estado da função;
  ATTRIBUTES:
    Status: fora de operação;
    Obervable: falso;
END INSTANCE;

```

```

INSTANCE estado da função 2
  INSTANCE-OF: estado da função;
  ATTRIBUTES:
    Status: fora de operação;
    Observable: falso;
END INSTANCE;

```

```

CONCEPT modo de falha;
  SUB-TYPE-OF: estado invisível da função;
  ATTRIBUTES:
    Status: ativo, não ativo;
END CONCEPT modo de falha;

```

```

INSTANCE modo de falha 1 A 1;
  INSTANCE-OF: modo de falha;
  SUB-TYPE-OF: estado invisível da função 1;
  ATTRIBUTES:
    Status: ativo;
END INSTANCE modo de falha 1 A 1;

```

Tipo Regras

modo de falha 1A1. ativo CAUSA estado de função 1. falhado
 modo de falha 1A2. ativo CAUSA estado de função 1. falhado
 modo de falha 1A1. PROVOCA MANIFESTAÇÃO DO efeito 1A1. Ativo

B.2) Bases de Conhecimento do caso SQL / ALADON

A base de conhecimento contém instâncias dos tipos de conhecimento do domínio. No caso em estudo podem ser definidas duas bases de conhecimento: base de conceitos/relações e base de regras (dependência de estado e manifestação).

CASO SQL / ALADON

Domínio: armazenamento de benzeno
 então

KNOWLEDGE-BASE 'DIAGNOSIS'

USE: armazenamento de benzeno
 Instâncias de conceitos/relações

END KNOWLEDGE-BASE 'diagnosis'

Base 1

KNOWLEDGE-BASE 'DIAGNOSIS'

USES: Armazenamento de benzeno
 dependência de estado FROM domínio armazenamento de benzeno;
 regra de manifestação FROM domínio armazenamento de benzeno;

EXPRESSIONS:

/*dependência de estado*/

/*regras de manifestação*/

END KNOWLEDGE-BASE 'DIAGNOSIS'

Base 2

C) Conhecimento da Inferência

Foram identificadas 4 inferências, uma função de transferência e 5 *roles* intermediários.

- inferências: *cover*, *select*, *specify* e *verify*
- função de transferência: *obtain*

- *roles: differential, hypotesis, result, observable, finding*

Suas finalidades e relacionamentos estão descritos nos anexos 1A, 1B e 8.

As inferências fornecem um link entre as tarefas, seus métodos e o esquema do domínio. A principal distinção entre tarefa e inferência, é que ela não precisa de um método associado.

As inferências são completamente especificadas através de suas entradas, saídas e conhecimento estático (definição das *roles* dinâmicas e estatísticas). Para cada *role* usada na inferência, é definido um mapeamento entre esta *role* e os conceitos do domínio. A seguir são definidos em CML2 as inferências, a função de transferência e as *roles* utilizadas na tarefa *DIAGNOSIS*.

a) Inferências:

```

INFERENCE cover;
  ROLES:
    INPUT: complaint;
    Output: hypothesis;
    Static: causal-model;
  SPECIFICATION:
    “Cada vez que a inferência é invocada, ela gera uma solução candidata, que pode
    causar a reclamação. A saída seria um estado inicial do modelo causal que provocaria a
    reclamação de entrada”;
END INFERENCE cover;

```

```

INFERENCE select
  ROLES:
    INPUT: hypothesis;
    OUTPUT: hypothesis;
  SPECIFICATION:
    “Selecionar uma hipótese de um conjunto apresentado por cover”;
END INFERENCE select;

```

```

INFERENCE specify
  ROLES:
    INPUT: hypothesis;
    OUTPUT: observable;
    STATIC: manifestation model;
  SPECIFICATION:
    “Esta inferência é para refinar hypothesis”;
END INFERENCE specify;

```

INFERENCE verify
 ROLES:
 INPUT: hypothesis;
 finding
 OUTPUT: result
 SPECIFICATION:
 “Esta inferência é uma simples comparação entre a hipótese selecionada pela specify e o valor de observação atual introduzida na estrutura por obtain”.

b) Função de Transferência OBTAIN

TRANSFER-FUNCTION obtain
 TYPE:
 OBTAIN;
 ROLES:
 INPUT: observable;
 OUTPUT: finding;
 END TRANSFER-FUNCTION obtain;

c) Roles

KNOWLEDGE-ROLE complaint;
 TYPE: DINAMIC;
 DOMAIN-MAPPING: estado da função visível
 END KNOWLEDGE-ROLE complaint;

KNOWLEDGE-ROLE hypothesis;
 TYPE: DINAMIC;
 DOMAIN-MAPPING: estado da função visível
 END KNOWLEDGE-ROLE hypothesis;

KNOWLEDGE-ROLE causal model;
 TYPE: STATIC;
 DOMAIN-MAPPING: dependência de estado FROM armazenamento de benzeno;
 END KNOWLEDGE-ROLE causal-model;

KNOWLEDGE-ROLE manifestation model;
 TYPE: STATIC;
 DOMAIN-MAPPING: regras de manifestação FROM armazenamento de benzeno;
 END KNOWLEDGE-ROLE manifestation model;

KNOWLEDGE-ROLE observable
 TYPE: DINAMIC
 DAMAIN-MAPPING: função observável
 END KNOWLEDGE-ROLE observable;

KNOWLEDGE-ROLE finding
 TYPE: DINAMIC
 DOMAIN-MAPPING: função observável
 END KNOWLEDGE-ROLE finding;

KNOWLEDGE-ROLE result;
 TYPE: DINAMIC
 DOMAIN-MAPPING:
 END KNOWLEDGE-ROLE result;

7.4.3 – Refinamento do Conhecimento Contido nas Tarefas de RCM

7.4.3.1 Atividade de Refinamento: Completar as bases de conhecimento incluindo instâncias necessárias.

Completar as bases de conhecimento para o armazenamento do benzeno não apresenta dificuldade, a lista inteira do conhecimento do domínio encontra-se no anexo 8.

7.4.3.2 Atividade de Refinamento: Validação do modelo de conhecimento

No estudo do armazenamento do benzeno, a validação do modelo de conhecimento, será feita por simulação do papel conforme Wielinga (2000, p.181). A simulação define cenários típicos que refletem o comportamento do sistema e usa o modelo de conhecimento para gerar no papel estes cenários. Pode ser feito numa tabela com três colunas. A primeira coluna indica o que acontece em termos do domínio específico, a segunda coluna descreve a ação do modelo de conhecimento correspondente e a última coluna fornece uma breve explanação do fato.

A simulação de 1 cenário típico para o caso do armazenamento do benzeno é apresentada na Figura 7.9 a seguir:

Cenário Típico: Falha da Função Nº 1

<i>Domínio do armazenamento do benzeno</i>	<i>Modelo de conhecimento</i>	<i>Explicação</i>
O usuário diz: "A falha funcional A está ativa".	<i>DIAGNOSIS: complaint</i> falha funcional A status = ativa	A role complaint é recebida, a qual permite a partida da tarefa diagnóstico
Existe uma série de possíveis causas que provoquem a falha funcional A	<i>Cover: causal-model.</i> Modo de falha 1A1. ativo (...) Modo de falha 1A9. ativo	Existem 9 possibilidades de modo de falha produzidas por esta inferência e armazenadas em diferencial
Uma possível causa seja o modo de falha 1 A 1. ativo	<i>Select: hypothesis</i> modo de falha 1 A 1. ativo	Uma hipótese é selecionada do conjunto de 9
Neste caso a função observável tem efeito 1 A 1. ativo	<i>Specify: observable</i> efeito 1 A 1. ativo	A observable fornece um caminho para dar suporte às evidências de hypothesis
Sistema: "Pode me falar qual o efeito que ocorreu?" O usuário: "O efeito observado foi o efeito 1 A 2."	<i>OBTAIN: finding</i> efeito 1 A 2. ativo	Este não é o efeito esperado, assim pode-se rejeitar esta hipótese
O efeito esperado é diferente do observado.	<i>Verify: result =</i> not. equal	O teste para confirmar a hipótese, evidencia insucesso
Torna-se necessário testar outra possibilidade para a falha funcional A	<i>Select: hypothesis</i> modo de falha 1 A 2. ativo	Repete-se o processo com a segunda solução possível
Neste caso a função observável tem efeito 1 A 2. Ativo	<i>Specify: observable</i> efeito 1A2. ativo	A observable fornece um caminho para dar suporte às evidências de hypothesis
Sistema: "Pode me falar qual o efeito que ocorreu?" O usuário: "O efeito observado é o efeito 1 A 2".	<i>Obtain: finding</i> efeito 1 A 2. ativo	Este é o efeito esperado, assim pode-se aceitar esta hipótese
O efeito esperado é igual ao observado	<i>Verify: result=equal</i>	O teste confirma a hipótese, então a falha funcional A está ativa devido ao modo de falha 1 A 2 estar ativo. A tarefa de RCM indicada neste caso é a tarefa 1 A 2.

Figura 7.9: Simulação no papel do processo de raciocínio do modelo de conhecimento do domínio do armazenamento de benzeno com cenário típico de falha de função nº1.

7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

O desenvolvimento destas considerações serão feitas utilizando-se de duas perguntas estratégicas, que ajudam a verificar a extensão e a empregabilidade da metodologia em referência.

1ª Como avaliar se a aplicação da metodologia proposta funciona para um caso em análise?

2ª Como avaliar se a metodologia é eficaz e traz contribuição para a disciplina de gestão e engenharia do conhecimento, no âmbito do setor elétrico?

Com relação ao primeiro questionamento, a avaliação deve ser feita em duas etapas:

- primeira, se houve cumprimento do processo de RCM pelo grupo coordenado pelo facilitador, para o caso em análise;
- segunda, se houve cumprimento das etapas propostas para modelagem do conhecimento; se isto ocorreu, pode-se dizer que a metodologia funciona e foi aplicada com sucesso.

No caso deste trabalho o autor não interagiu com as pessoas das empresas, mas com os dados e informações disponíveis parcialmente, tanto de Furnas, quanto da SQL / ALADON.

Não fez nenhuma simulação de grupo de RCM, e sim de engenheiro do conhecimento para uma modelagem da segunda etapa.

Os itens anteriores deste capítulo mostram que todas as etapas necessárias para o desenvolvimento do caso SQL / ALADON foram cumpridas, mostrando a funcionalidade da metodologia proposta.

Neste ponto cabe ressaltar alguns itens de grande relevância para a compreensão desta funcionalidade, baseado na experiência prática.

(1) a dificuldade em materializar o processo RCM é substancial, pois exige muita objetividade, treinamento, investimento e uma grande vontade de mudar, principalmente a visão gerencial.

(2) O grupo de RCM é fundamental para todo o processo de revisão de manutenção. O facilitador é a pessoa mais importante nesta estrutura.

(3) O processo de RCM constitui-se num poderoso método de elicitación do conhecimento. Os documentos levantados e concluídos pelo grupo fornecem ao engenheiro do conhecimento, todo o suporte necessário para a estruturação ontológica do domínio, como

- vocabulário de conceitos
- tipos e valores dos conceitos
- estrutura de relacionamento destes conceitos

(4) Segundo Schreiber (2002), a modelagem do conhecimento não é simples e se expressa da seguinte forma: “*This is a difficult area, because the modelling process itself is a constructive problem-solving activity for which no single good solutions exists*”.

O ponto central da modelagem do sistema CommonKADS é a seleção de qual ou quais tarefa(s) template(s) reutilizável(is) é (são) mais adequada(s) para incorporação do conhecimento do domínio em análise.

A tarefa *template* é uma tarefa de conhecimento intensivo que possui na sua estrutura, conforme descrição de Abel (2002), 3 categorias epistemológicas:

- conhecimento da tarefa;
- conhecimento de inferência;
- conhecimento do domínio;

(5) O processo de RCM poderia ter sido desmembrado em duas tarefas templates: *DIAGNOSIS* + *PLANNING*. Segundo Wielinga (2000, p.165) esta seria uma combinação lógica. O resultado de *DIAGNOSIS* pode ser usado como um objetivo para o planejamento de ações corretivas. No domínio técnico esta combinação de tarefas é muitas vezes chamada de “*troubleshooting*” (corrigindo falhas nos equipamentos ou na organização).

Na modelagem do caso SQL/ALADON optou-se em utilizar apenas *DIAGNOSIS*, simplificando procedimentos e colocando o conceito de tarefa de RCM como *sub-type* do modo de falha, conforme item 7.4.2.3 deste trabalho. O desenvolvimento de *PLANNING* exigiria toda uma pesquisa relevante que pelo tempo exíguo a que esta tese está submetida, não seria possível. Deste modo esta linha de investigação fica para trabalhos futuros.

(6) Após aplicar a metodologia proposta e constatar sua funcionalidade, o que foi obtido com este procedimento? Todo o processo

de RCM transformado em tarefa de conhecimento intensivo, estruturada em seus 3 níveis de conhecimento ou categorias epistemológicas, conforme figura baixo:

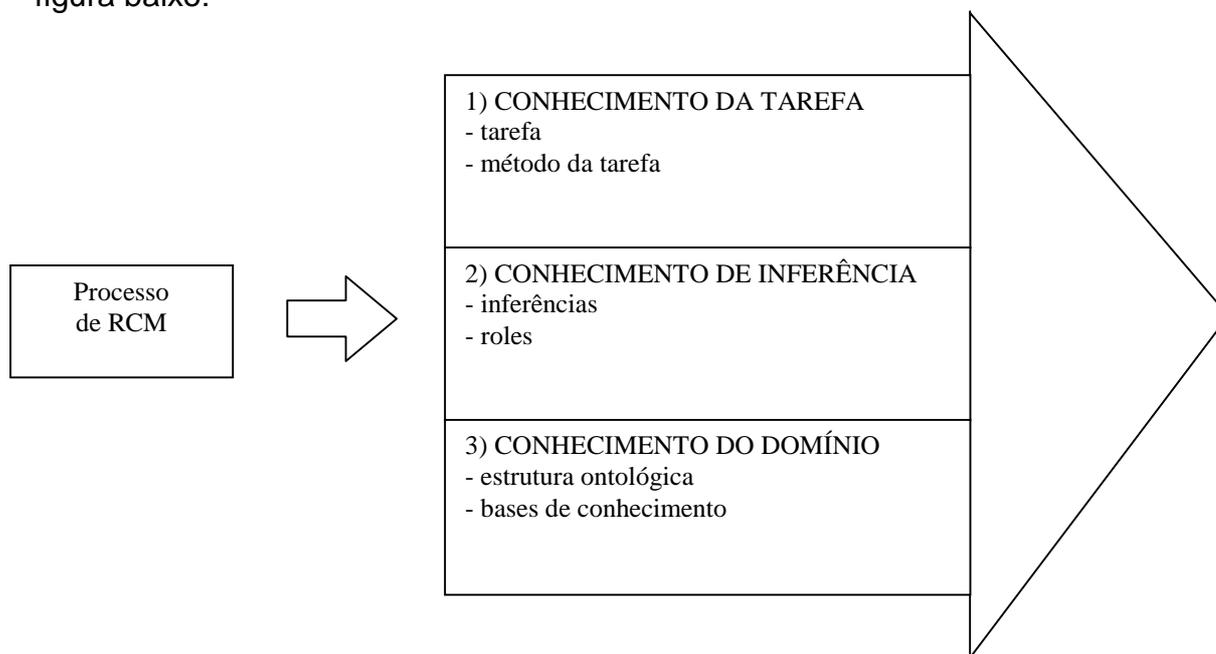


Figura 7.10: Transformação do processo de RCM em tarefa de conhecimento intensivo (DIAGNOSIS).

Lembrando-se que o processo de RCM aplicado em qualquer outro domínio, não alteraria a estrutura de *DIAGNOSIS*, desenvolvida neste trabalho, bastando apenas colocar nas bases do conhecimento, as instâncias inerentes ao novo domínio.

Com relação ao 2º questionamento, a avaliação da eficácia da metodologia se dá pela métrica de variáveis quantitativas e qualitativas inerentes a ela e que permitem sua comparação com outros sistemas. Na prática estas medidas são muitas vezes difíceis de serem obtidas, e na atualidade conseguem-se alguns valores quantitativos e qualitativos, mas de formas separadas para RCM e sistemas de conhecimento.

A seguir serão apresentadas uma série de análises, que permitem corroborar esta realidade.

(I) Vizzoni (1999, TT048) – Projeto piloto de Furnas

No desenvolvimento do trabalho pudemos constatar, na prática, que a MCC é um importante processo de documentação, análise de falhas e definição de prioridades e periodicidades de

manutenção preventiva, além de propiciar um forte fator de integração entre os setores de manutenção, proteção e operação, o que é extremamente produtivo para a empresa.

Isto associado à simulação de custos, conforme apresentado, mostra que a aplicação da MCC a subestações de energia elétrica se confirma como alternativa bastante promissora.

(II) Junior (1997, GMA18) – Implantação da MBC na Copel

A MBC²³ é uma mudança cultural que encontra solo fértil nas concessionárias de energia elétrica, pois traz ordenação de conceitos dispersos na função manutenção e permite uma importante transformação de mentalidade, a serviço de uma grande melhoria na eficiência econômica.

A MBC permite o resgate e documentação de informações técnicas, que de outro modo estariam perdidas com o afastamento (aposentadoria) de pessoal habilitado. A análise de investimentos que é o melhor procedimento a se adotar para tomadas de decisão na MBC, ainda é assunto novo para a área de manutenção. A inexistência de programa computacional para agilizar as análises, obrigaria à execução desta tarefa manualmente em cada caso, o que implicaria num tempo num tempo muito longo para a implantação na MBC. Diante destes obstáculos, somos obrigados a adotar um modo mais prático, que utilize exclusivamente a atual experiência do pessoal que trabalha na concessionária.

(III) Douglas (1996) – The Maintenance Revolution

New approaches to maintenance are helping both operation and maintenance to reduce costs and to improve the overall reliability of utility systems [...]

EPRI has pioneered the use RCM in power plants and, most recently, in power delivery systems[...]

The contribution of RCM to reducing forced outages and improving systems reliability are difficult to separate from the contributions of other factors. At the Callaway nuclear plant of Union Electric Company, for example, the outage rate dropped from over 5% to below 2,3% during period in which RCM and other productivity-enhancing programs were instituted.

²³ MBC – Manutenção Baseada em Confiabilidade. Outra alternativa para a sigla RCM.

We estimate that RCM save us half a million dollars per year in direct maintenance costs..... has contributed to reduction of forced outages to zero for last two years[...]

Techniques for RCM is almost finished at PECO Energy Company's Limerick nuclear plant. Using advanced implementation methods, company personnel have reduced the non recurring analysis costs by a factor of 4, and the payback period for RCM has now been shortened to about 2 years. A previous cost-benefit study conservatively indicated that five typical nuclear plants should have a combined net total of US\$ 15 million in maintenance costs over a 10 year period by using RCM.

(IV) EPRI (2002) – Capturing Undocumented Knowledge

A new report on EPRI R&D provides guidance for capturing the valuable knowledge of expert personnel and transferring it to others in order to help mitigate potentially negative economic, environmental, and safety consequences associated with worker departure or unavailability.

In the energy industry and other economic sectors, workforces are aging and many highly knowledgeable workers with 2 or 3 decades of experience are departing as a result of retirement, job transfers, downsizing, and other reasons. Furthermore, those experts who remain are not always around when needed.

Expert personnel are extremely valuable organizational assets because they harbor unique and specialized knowledge that enables them to perform tasks more efficiently and effectively than other personnel. Energy companies use various means to capture expert knowledge and disseminate it to other workers, including embedding the knowledge in decision aids and expert systems; transferring the knowledge through mentoring, job rotation, and cross-training; and having experts update existing or prepare new procedures and practices to reflect their knowledge.

(V) Terra (2002, p; 60-63) – Diferenças entre Gestão da Informação e Gestão do Conhecimento

Muitos estudos apontam para o fato de que não há uma grande ligação entre investimentos em tecnologia da informação e desempenho dos negócios ou aumento de produtividade. Na

verdade, com frequência é muito difícil emular a verdadeira vantagem competitiva das companhias, pois ela reside no conhecimento tácito coletivo dos funcionários. [...]

Projetos de gestão da informação tem objetivos técnicos muito específicos, prazos, projetos de fluxos de dados, e um estado final detalhado e normalmente preocupados com a integridade dos dados e com políticas e estratégias para distribuir informação. [...]

A gestão do conhecimento pode lucrar com diferentes projetos em diversas áreas: certamente em tecnologia da informação, mas também em recursos humanos, reestruturações organizacionais, comunicações internas e assim por diante.[...]

Enquanto os projetos de gestão da informação são, com frequência, avaliados com base nos seus resultados técnicos (além das considerações de custo e prazo), o sucesso de projetos de gestão do conhecimento tem menos a ver com seus resultados técnicos e mais com mudanças em comportamentos e ação resultantes das conexões ou oportunidades de aprendizado que foram facilitadas pelo projeto de gestão do conhecimento.

(VI) Schreiber (1992, p. 169-182): Comparing KADS to Conventional Software Engineering

Knowledge engineering (KE) and conventional software engineering (CSE) are closely related fields. Although both fields emphasise different aspects of the system development process, there is no sharp boundary between conventional software systems and knowledge based systems (KBS). The main features that distinguish a KBS from a conventional system are often said to be the nature of the task (problem solving) and the explicitness of knowledge (the knowledge base). But with the growing complexity of conventional systems, the borderline is vague. Also, the tendency is to use KBS not as stand-alone applications, but in combination with other, more conventional, applications.

(VII) Brazier (1998, p.01-36) *Comparison of Modelling*

Frameworks:

Conforme mencionado no capítulo 5 deste trabalho, Brazier apresenta um substancial estudo comparativo dos *frameworks* de modelagem da

atualidade: CommomKADS, PROTÉGÉ-II; MIKE, VITAL, DESIRE, RDR e TASK.

Muito se evoluiu para se chegar a estudos comparativos entre estas estruturas. Neste trabalho, Brazier utilizou-se de 5 categorias de elementos, como descritos a seguir:

- 1- as características da metodologia atrás do *framework* de modelagem incluindo níveis de especificação
- 2- as linguagens de modelagem e especificação
- 3- o suporte fornecido
- 4- as entradas necessárias para modelar e especificar um sistema de conhecimento intensivo, e
- 5- a saída da modelagem e sua especificação.

Não apresenta resultados conclusivos, nem percentuais comparativos, apenas procura orientar dentro das possibilidades, a estrutura, em tese, mais adequada para determinadas situações.

Baseado nesta seqüência de pareceres e na experiência prática vivenciada pelo trabalho de tese, alguns pontos devem ser levados em consideração, relativos ao 2º questionamento:

(1) os dois blocos de técnicas que compõe esta metodologia mostram-se eficazes qualitativamente, sendo profusamente empregadas a nível mundial, conforme referências dos capítulos anteriores. Com relação ao aspecto quantitativo, os relatórios do SMPR dos Estados Unidos e do EPRI atestam a eficácia da RCM, mas em relação ao CommonKADS ainda faltam esses números.

(2) Ainda não existem trabalhos, na atualidade, que forneçam métricas quantitativas sobre os *frameworks* de sistema de conhecimento. Um trabalho substancial como o de Brazier, tirou apenas algumas conclusões de orientação de emprego.

(3) Um dos aspectos qualitativos da metodologia proposta é transformar o processo de RCM numa tarefa de conhecimento intensivo, como por exemplo a *DIAGNOSIS*. Este procedimento é uma forma de

capturar conhecimento não documentado. Este fato insere-se num contexto de alta relevância a nível mundial, pois órgãos de pesquisa como o EPRI dos Estados Unidos, por meio dos seus cientistas tem procurado com intensidade, métodos de captura do conhecimento não documentado, principalmente nas indústrias de energia elétrica, conforme atestado em EPRI (2002).

(4) Um aspecto qualitativo que se pode visualizar ao obter uma tarefa de conhecimento intensivo como a *DIAGNOSIS*, como todo um conhecimento de RCM no seu interior, é a alta padronização exigida.

No âmbito da manutenção, como analisado no capítulo 2, o aspecto padronização é muito conflitante, começando pela terminologia.

Esta forma então, de formatar e encapsular conhecimento pode contribuir para a construção de novas soluções em manutenção de sistemas elétricos, bem como contribuir para a difusão da gestão e engenharia do conhecimento intensivo, neste âmbito.

CAPITULO 8 – CONCLUSÕES

8.1 AVALIAÇÃO E RESULTADOS

O desenvolvimento desta metodologia culminou com a obtenção de importantes resultados:

- (I) Constatou-se que os modelos de manutenção preventiva de 2ª geração se exauriram e não atendem mais à busca contínua de produtividade, conforme análise do capítulo 2. Neste contexto, encontra-se a quase totalidade do sistema elétrico brasileiro, onde a ele se somam dois outros desafios: o crescimento contínuo da demanda elétrica e o envelhecimento dos equipamentos.
- (II) Mostrou-se como os modelos de manutenção de 3ª geração enfatizam a integração de áreas, principalmente manutenção e operação. Esta integração propicia a explicitação do conhecimento tácito, que permite a verdadeira vantagem competitiva da atualidade. Mostrando como este conhecimento exerce papel crucial nos processos modernos de manutenção, entre eles os relativos aos sistemas elétricos.
- (III) Existe, hoje, no universo da manutenção, enorme profusão de métodos, softwares, modelos de gestão e ferramentas da qualidade, porém duas vertentes se destacam e produzem sub-processos como consequência a manutenção centrada na confiabilidade (RCM) e a manutenção produtiva total (TPM). A primeira de origem americana e a segunda de origem japonesa. A análise de Geraghety (2002, p.01-09) mostra com clareza a distinção entre os objetivos da RCM e da TPM, substanciando a direção do trabalho da tese para a RCM.
- (IV) Mostrou-se que a RCM é um processo de manutenção científica. Segundo análise de Moubrey (2002, p.02), atende a um dos principais paradigmas da gestão de manutenção da 3ª geração, que é: “Manutenção

afeta todos os aspectos do negócio: segurança, integridade ambiental, eficiência energética e qualidade do produto, não somente a disponibilidade da planta e custo”. O autor chama atenção para a nova perspectiva da “Tutela Responsável”. Hoje em dia, cada vez mais tem-se a consciência de que a saúde física da maioria das organizações depende de uma contínua integridade física e funcional dos seus ativos. Segurança está se tornando uma questão dominante no mundo da manutenção. Falhas de equipamentos representam uma parte substancial dos piores acidentes da história da indústria, como Bophal, Chernobyl, Piper Alpha, P-36, etc. Acrescenta ainda que recentemente o governo Britânico iniciou processos contra executivos seniores de organizações para uma nova classe de crime denominado “homicídio culposo corporativo”, nos casos onde se ponderou que as fatalidades foram resultado da tutela irresponsável de ativos físicos.

- (V) Outro resultado relevante e, analisado no Capítulo 4 é que a RCM é majoritariamente estruturada no conhecimento tácito da organização, porém é tratada tanto gerencialmente, como computacionalmente como simples sistema de informação, exemplificando como os sistemas atuais ainda não tratam de forma adequada e efetiva este conhecimento.
- (VI) Os processos de padronização de RCM adotados nesta tese estão estruturados nas normas SAE (JA 1011 e 1012) dos Estados Unidos e na RCM2 de Moubray. Conforme analisados nos capítulos 3 e 4, a padronização é importante devido à proliferação de propostas no mercado que se dizem de RCM e como este processo é o mais adequado para incorporação do conhecimento intensivo no processo de manutenção de sistemas elétricos.
- (VII) Evidenciou-se a relevância da gestão do conhecimento e dos sistemas de conhecimento de *2ª geração* para o processo selecionado de RCM. A análise do Capítulo 5 orientou o sistema CommonKADS (Common Knowledge Analysis and Design Support) como adequado ao processo de RCM independente de não haver nenhum registro específico do desenvolvimento deste sistema num projeto de manutenção de sistemas

elétricos, nem do projeto de RCM, mesmo que não fosse na área de sistemas de potência, conforme pesquisada referenciada no Capítulo 5. A maleabilidade deste modelo de conhecimento permite estabelecer bases de conhecimento padronizadas, inovadoras e explícitas. Segundo Aamodt (2002), este sistema foi desenvolvido no seio do projeto ESPRIT (2003), para se tornar um padrão europeu de sistema de conhecimento.

O projeto ESPRIT materializa um enorme esforço da comunidade europeia no domínio das áreas-chaves da tecnologia da informação, congregando inteligência artificial, lingüística, psicologia cognitiva, multimídia, internet, computação distribuída e lógica computacional

(VIII) O desenvolvimento do capítulo 7 permitiu mostrar a funcionalidade e a grande flexibilidade que a metodologia oferece para análise do conhecimento nas estruturas organizacionais. A prática revelou que um grupo de análise de processo, aliado às novas técnicas de engenharia do conhecimento produzem uma fórmula que captura qualquer conhecimento desejável da organização, representando um novo modo de pensar, mais racional e mais científico.

Um dos pontos de relevância que a prática também mostrou, foi a possibilidade de estabelecer bases de conhecimento padronizadas, reutilizáveis e de uma ampla utilidade tanto no âmbito do setor elétrico, quanto industrial. Conforme foi explicitado no capítulo 5 deste trabalho, estas bases podem ser negociadas virando moeda corrente entre empresas e sistemas.

8.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Dentro do escopo desta tese e dos resultados descritos anteriormente, podem-se identificar contribuições das seguintes naturezas:

- *primeira*: de caráter exclusivamente informativo, envolvendo pesquisa bibliográfica, aprofundamento de conhecimento e elaboração de textos explicativos sobre a temática manutenção, RCM, gestão do conhecimento e engenharia do conhecimento.
- *segunda*: de caráter inovador, englobando o desenvolvimento da metodologia em questão.

- *terceira*: de caráter de pesquisa científica, desenvolvendo a pesquisa da aquisição do conhecimento de estruturas ontológicas e captura de conhecimento não documentado.

(1) Em relação a contribuição de caráter informativo, mais especificamente o capítulo 2 e 3, apresentam fundamentação teórica/prática para: a importância da manutenção no contexto das organizações; sua evolução histórica na forma de gerações de idéias; de como a compreensão da curva banheira conduziu ao conceito de manutenção preventiva, e como surgiu a manutenção centrada em confiabilidade (RCM), sua evolução até os nossos dias, sua metodologia e as normas SAE-JA 1011 e 1012; práticas da manutenção no sistema elétrico brasileiro, sua crise e propostas de novas direções bem como práticas de manutenção a nível mundial.

O capítulo 4 permitiu uma análise aprofundada de desenvolvimento da inteligência artificial no contexto da manutenção e da emergência dos sistemas de conhecimento de 2ª geração no contexto da manutenção.

No capítulo 5 houve uma fundamentação teórica em dois pontos:

- da engenharia do conhecimento, com seus princípios e métodos de modelagem estruturados nos níveis de conhecimento de Newell:
- da metodologia CommonKADS, surgida no âmbito do projeto ESPRIT, com sua aplicabilidade, seus modelos, bem como sua interação com outras disciplinas.

(2) No aspecto de natureza inovadora, a tese contribuiu da seguinte forma:

- incorporando conhecimento intensivo as tarefas de RCM desenvolvida para ativos físicos
- tratando o grupo de RCM como uma técnica de aquisição do conhecimento, que se adiciona ao elenco apresentado por Wielinga (2000, p.187) e Gardner (apud Abel, 2002, p.61).
- agregando a personagem do engenheiro do conhecimento ao contexto metodológico:
- empregando a tecnologia de tarefa *template* reutilizável ao processo de RCM.

(3) Com relação ao caráter da pesquisa científica, tem-se a destacar:

- *a elicitação do conhecimento estruturado num grupo constituído para o processo de RCM.*

A pesquisa comprova (Wielinga, 2000, p.188) que na aplicação de qualquer sistema baseado em conhecimento, um dos pontos nevrálgicos é a aquisição deste conhecimento. Na atualidade esta aquisição virou uma disciplina de engenharia do conhecimento, com linha de pesquisa própria, onde seu principal fórum são os workshops da comunidade “KA” (knowledge acquisition), que ocorrem nos Estados Unidos, Europa, Austrália e Japão.

O processo de RCM, desde a aquisição de informações até o estabelecimento das tarefas adequadas de manutenção está inteiramente centrado no ser humano, conforme descrito por Smith e Moubray no capítulo 2 desta tese.

Os sistemas automáticos não logram êxito neste contexto, não existe software que reproduza estes procedimentos. Deste modo, o facilitador do grupo de RCM, sem que o seja dito, assume o papel de engenheiro do conhecimento, pois congrega os especialistas de todas as áreas que sejam necessárias ao sucesso dos objetivos. Faz estes especialistas conversarem entre si e obtém seus resultados por consenso. Este procedimento intrínseco constitui-se numa técnica relevante evidenciada por esta tese.

- *especificação da ontologia do domínio de um processo de RCM*

O estudo da ontologia como mecanismo de especificação de domínios virou outra disciplina da engenharia do conhecimento, constituindo-se numa importante área de pesquisa, conforme pode ser visto em Gruber (2003), Fikes (2003), Benjamins (1998, p.161-197) e Protégé (2002). O mérito da tese esta em especificar pela primeira vez uma estrutura ontológica para um domínio num processo de RCM.

- *desenvolver um método que permita capturar conhecimento não documentado (conhecimento tácito organizacional).*

A referência EPRI (2002), relata como este Instituto de Pesquisa Americano tem concentrado enormes esforços de seus cientistas no desenvolvimento da captura do conhecimento não documentado no âmbito das

industrias do setor elétrico. Este desafio faz parte do Strategic Science & Technology Program previsto no Road Map do setor elétrico e explicitado no item 1.2 deste trabalho.

O produto final da metodologia da tese é a captura do processo RCM numa tarefa *template* reutilizável de conhecimento intensivo.

Esta cápsula de conhecimento, como poderia ser chamada a tarefa template, se adequa a uma estrutura de gestão do conhecimento organizacional, como por exemplo ao modelo da EMBRACO (2002), cuja estrutura se encontra na página a seguir. Dentro deste contexto, a tarefa satisfaz as duas primeiras fases:

- Aquisição e criação do conhecimento
- Captura do conhecimento

As fases seguintes fazem parte de trabalhos futuros.

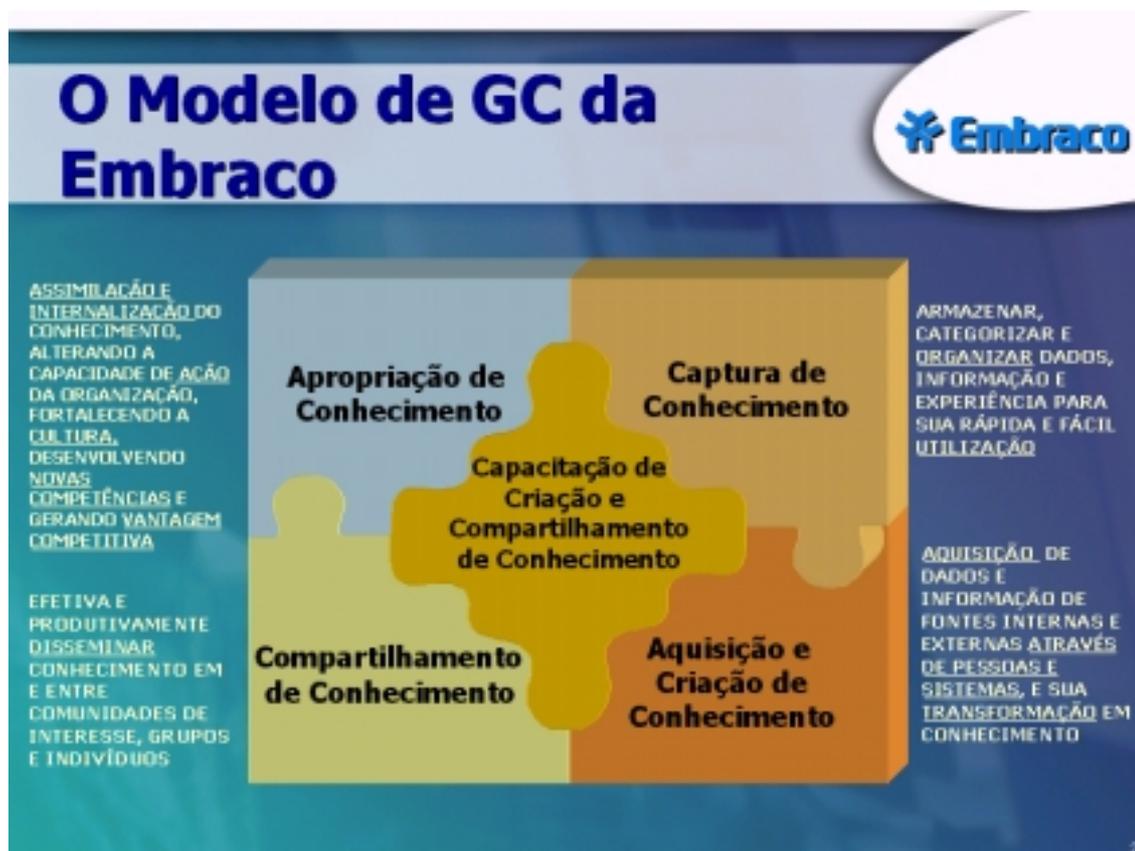


Figura 8.1: Modelo de gestão do conhecimento da EMBRACO.

8.3 SUGESTÕES E TRABALHOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido no ambiente da metodologia proposta, oferece subsídios ao desenvolvimento de sugestões e de outros projetos de pesquisa nesta universidade ou em outras instituições com interesse na área, a saber:

8.3.1 Sugestões:

(I) fomentar nas universidades a engenharia do conhecimento como curso emergente com características próprias e não como item de conteúdo programático de cadeira de inteligência artificial dos cursos de computação ou informática.

Na atualidade, a engenharia do conhecimento não pode ser vista, somente, como sistema de conhecimento. Ela engloba algumas importantes áreas como:

- Aquisição do Conhecimento
- Ontologias como mecanismo de especificação de domínio
- Bases de Conhecimento
- Reutilização e Compartilhamento de Conhecimento
- Processos de Raciocínio
- Sistemas de Conhecimento, além de sua integração ao gerenciamento do conhecimento.

A atomização das áreas em referência já subsidiam diversas cadeiras de um curso, que inicialmente podem ser fornecidas numa pós-graduação e posteriormente na explicitação de um curso à nível de graduação como : engenharia elétrica, engenharia de produção, computação, etc.

(II) Acrescentar ao elenco de qualidades necessárias e descritas por Moubray (1997, p.269) para um facilitador de grupo de RCM: ser versado em engenharia do conhecimento.

A experiência mostrou que para aplicar com sucesso a metodologia proposta, torna-se imprescindível o engenheiro do conhecimento e ninguém melhor do que o facilitador de RCM para incrementá-lo.

(III) *Desenvolvimento de ferramentas computacionais, que amenizem a dependência humana no caso de RCM.*

Na atualidade a condução de um processo de RCM é totalmente centrado na figura humana. O sistema computacional é apenas um mero coadjuvante, exercendo o papel de secretário, armazenador de informações e tarefas.

Com a evolução dos sistemas de conhecimento e dos softwares tradicionais cujos elos de ligação foram analisados por Schreiber (1992), pode-se desenvolver programas que atenuem esta dependência humana, integrando melhor o homem à máquina.

Os pontos mais adequados para isso, seriam sistemas para diagnóstico de falha e envelhecimento, análise parcial de decisão de tarefa, bem como análise de investimento.

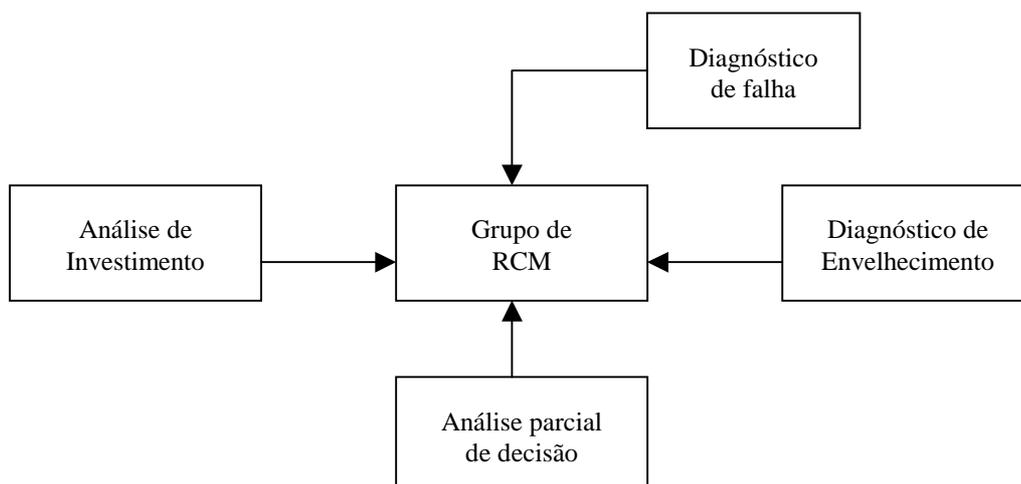


Figura 8.2: Áreas para desenvolvimento de programas

Poderia ser um processo integrado homem/máquina onde a decisão humana continuaria sendo a preponderante. Os programas podem ser tanto utilizando tecnologia de inteligência artificial (sistemas especialistas, sistemas de agentes, por exemplo) quanto tecnologia tradicional de software, com a preocupação de integrá-los com a estrutura de conhecimento da modelagem adotada.

IV) A metodologia proposta unindo o processo de RCM com sistema de conhecimento como o CommonKADS, estimula a integração entre engenharia de software e engenharia do conhecimento, sugerindo outra linha de pesquisa.

8.3.2 Trabalhos Futuros:

De imediato identificam-se dois trabalhos:

- Implementação na forma computacional do caso analisado no capítulo 7.
- Integração desta implementação a um software tradicional de manutenção em uso.

Esta é a parte do projeto que complementa o trabalho da tese, cuja constituição atual será considerado como etapa inicial.

A seguir se delineiam várias outras áreas de estudos e pesquisa:

- Integração da metodologia a uma estrutura de gestão do conhecimento como da EMBRACO , por exemplo.
- Desenvolvimento de plataforma, a exemplo da Lattes (2003) somente para manutenção de sistemas industriais, fazendo conexão com o Brasil e o mundo.
- Participar de projetos como o "*Knowledge Sharing Technology*" desenvolvido pela Universidade de Stanford (Fikes, 2003), congregando comunidades como a do projeto ESPRIT, entre elas o do CommonKADS, projeto Protegé entre outros como o objetivo de desenvolver bases de conhecimento compartilhadas e reutilizáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAMODT, Agnar. *Knowledge Acquisition and Learning by Experience. The Role of Case - Specific Knowledge*. 1994. [on line]. Disponível < <http://www.ifi.ntnu.no/~agnar/eng.html> >. Acesso em: 22/07/2002.

AANN. *Application of Artificial Neural Networks to Power Systems*. [on line]. Disponível < <http://members.tripod.com/ann2ps/Publications1994.htm> > .Acesso em : 19/05/2002.

ABEL , Mara. *Sistemas de Conhecimento* . [on line]. Disponível < <http://www.marabel.inf.ufrg.br/Publico/Disciplinas/inf1039.htm> > .Acesso em: 26/07/2002.

ABRAMAN. *Documento Nacional – Situação da Manutenção no Brasil no Ano de 2001*. [on line] . Disponível na Internet < <http://www.abraman.org.br> >. Acesso em: 20/01/2002.

AIES 1999. *AAAI Spring Symposium on AI in Equipment Maintenance Service and Support* . [on line]. Disponível < <http://best.me.berkeley.edu/~goebel/ss99/aies.html> > .Acesso em : 19/05/2002.

ALADON. Disponível na Internet < <http://www.aladon.co.uk> > Acesso em: 11/03/2003.

ALTWEGG , J. et al . *Aplicação de Sistemas Eletrônicos de Monitoramento do Estado e do Comando de Disjuntores de Alta Tensão*. XIV SNPTEE: GMA/019, 1997, Belém, PA.

ALVARENGA, Rogério. *Disciplina: fundamentos de inteligência artificial*. [on line]

Disponível: < <http://www.mestradoinfo.ucb.br/prof/rogerio/fia/fundia.htm> >. Acesso em: 02/01/2002.

AKKERMANS, J. M., GUSTAVSSON, R. and YGGE, F.. *An Integrated Structured Analysis Approach to Intelligent Agent Communication*. Proceedings IFIP World Computer Congress. London.1998.

ANGELE, J. , FENSEL, D. and STUDER, R. . *Developing Knowledge –Based Systems with MIKE*. Journal of Automated Software Engineering, 1998.

ANGELONI, Maria Terezinha. *Organizações do Conhecimento – Infraestruturas, Pessoas e Tecnologias*. São Paulo: Saraiva, 2002.

ARCHON . *Architecture for Cooperative Heterogeneous ON-line Systems* . [on line]. Disponível < http://www.elec.qmw.ac.uk/dai/projects/archon/test_1.html > . Acesso em:16/07/1998.

ARL. *Applied Research Laboratory at the Pennsylvania State University*. [on line]. Disponível < <http://www.art.psu.edu/areas/soa/conditionmaint.html> >. Acesso em: 19/05/2002.

AUGUST, Jim. *Applied Reliability-Centered Maintenance*. Tulsa, Oklahoma: Penn Well, 1999.

AZEVEDO, Celso de. *Tendências da Manutenção Industrial no Mundo*. Manutenção - revista da ABRAMAN nº 82 - jul/ago 2001.

BARRETO, Jorge M. *Redes Neurais Artificiais*. Apostila do Curso de Redes Neurais, UFSC – Pós – Graduação, 1998.

BASSO, Walter Antonio e PEREIRA, Luiz Texeira do. *Introdução à Engenharia*. 6ª edição. Florianópolis: UFSC, 2000.

BELCHIOR, Carlos R. P. e BAPTISTA, Luiz A. R. *Manutenção Preditiva de Motores Diesel por Monitoração de Tendências de Parâmetros Operacionais*. ABRAMAN – 10º Congresso Brasileiro de Manutenção: p.219-233, 1995, Rio de Janeiro, RJ.

BENJAMINS, V. Richard. *Problem Solving Methods for Diagnosis*. Ph.D. thesis, University of Amsterdam, 1993.

BENJAMINS, V. Richard et al. *Knowledge Engineering: Principles and Methods*. Revista: Data & Knowledge Engineering, n°25, 1998, p.161-197.

BILLINTON , Roy . *Power System Reliability Evaluation*. New York: Gordon and Breach, Science Publishers, 1970.

BITTENCOURT, Guilherme. *Inteligência Artificial*. Florianópolis: UFSC , 1998.

BOMAN, Paul. *GSU (Generator Step Up Transformer) Monitoring and Diagnostics: The Achilles Heel of the Power Plant ?* [on line]. Disponível na Internet < http://www.electricpowerexpo.com/archive/ep2000/track_6.asp >. Acesso em: 13/02/2002.

BOOCH , G. et al. *The Unified Modelling Language User Guide* . Reading , MA : Addison Wesley , 1998 .

BOTELHO, Edmilson José A. *Inteligência Artificial na Manutenção*. ABRAMAN - 6º Congresso Brasileiro de Manutenção: p.08-26, 1991, Rio de Janeiro, RJ .

BRAVO, Ron. *Condition-Based Maintenance at Southern California Edison*. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/OnAnalysis/ao-com.htm> >. Acesso em: 10/08/2001.

BRAZIER, Francis M. T. et al . *Modelling an Elevator Design Task in DESIRE: The VT Example*. International Journal of Human-Computer Studies, 44(3/4), p.469-520, 1996.

BRAZIER , Francis M. T. e WIJNGAARDS , Nick J.E. . *A Purpose Driven Methods for the Comparison of Modelling Frameworks* . 1998. [on line] . Disponível na internet < <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW98/brazier1/> > . Acesso em: 15/03/2002.

BREUKER, J. A. et al. *Model Driven Knowledge Acquisition: Interpretation Models*. ESPRIT Project P1098 Deliverable D1, University of Amsterdam AND STL Ltd, 1987.

BREUKER, J. A. and VAN de VELDE, W. *The CommonKADS Library for Expertise Modelling*. Amsterdam: IOS Press, 1994.

BROOKS, Rodney A. *MIT Artificial Intelligence Laboratory – Research Abstracts*. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.ai.mit.edu> >. Acesso em: 10/09/1999.

CAMARGO, C. Celso de Brasil. *Confiabilidade Aplicada a Sistemas de Potência Elétrica*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora.S. A., 1981.

CASTELLS, Manuel. *A Sociedade em Rede*. São Paulo: Paz e Terra, 1999.

CASTRO, David Aguiá de. *Implementando e Praticando Confiabilidade na Manutenção*. ABRAMAN – 12º Congresso Brasileiro de Manutenção: TT023, São Paulo, SP, 1997.

CATALYST. *Use of CommonKADS Methodology in Knowledge Based system Development*. [on line]. Disponível na Internet: < <http://www.esi.es/esse/reports/ati/10327> > Acesso em: 10/06/2002.

CAVICHIOLO, Nelson Roberto e PASQUA, Maurício Coragem. *Gestão da Manutenção em Sistema de Transmissão de Energia: Uma Experiência de Sucesso*. XVI SNPTEE: GMI / 015, 2001 – Campinas, SP.

CEPAL. *América Latina e o Caribe na transição para a sociedade do conhecimento*. Reunião Regional de Tecnologia da Informação para o Desenvolvimento. Florianópolis, jun/2000, p.11-12.

CHANDRASEKARAN, B. *Generic Tasks in Knowledge – based Reasoning: High-level Building Blocks for Expert System Design*. 1986. [on line]. Disponível < <http://www.cis.ohio-cis.edu/~chandra> >. Acesso em: 06/06/2002.

CHANDRASEKARAN, B. *Ontology of Tasks and Methods*. 1998. [on line]. Disponível <<http://www.cis.ohio-state.edu/~chandra/>>. Acesso em: 06/06/2002.

CHARQUEADAS. *Usina Termelétrica de Charqueadas – Grandes Motores – Revisão das Fichas de Manutenção Preventiva Periódica*. Relatório Preliminar . Eletrosul /Dem /Demt, dezembro, 1995.

CIGRÉ–CE39. *An International Survey of Maintenance Policies and Trends* . [on line]. Disponível na Internet <http: www.itaipu.gov.br/cigre-ce39/documentos >. Acesso em: 13/01/2002.

CLANCEY , W. J. *Heuristic Classification*. Artificial Intelligence, Amsterdam, v27, n.3, 1985, p.289-350.

CML2 – Conceptual Modelling Language. [on line]. Disponível na internet < <http://web.swi.psy.uva.nl/projects/kad22/cml2doc.htm> >. Acesso em: 04/03/2002.

CommonKADS. *Engineering and Management Knowledge*. [on line]. Disponível < <http://www.commonkads.uva.nl/homepagedef.html> >. Acesso em: 14/09/2000.

COSTA, J. Antonio. *Registro Digital de Sinais: Uma Ferramenta de TPM*. ABRAMAN - 14º Congresso Brasileiro de Manutenção: TT062, 1999, Foz do Iguaçu, PR.

COUTINHO, L. Henrique de S. A. et al. *A Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro – Uma Análise Prospectiva*. XVI SNPTEE: GAE/012, 2001, Campinas, SP.

DEMH. *Disponibilidade do Parque de Hidrogeradores (Manutenção x Disponibilidade)*. Relatório ELETROSUL/DEM, jan/1996, p.09-10.

DOUGLAS, John. *The Maintenance Revolution*. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.epri.com> >. Acesso em: 16/11/1996.

DRUCKER, Peter. *Sociedade Pós-Capitalista*. 7ª edição. São Paulo:Pioneira, 1999.

DUNN, Sandy. *Implementing a Computerized Maintenance Management System*. [on line] Disponível na Internet < <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/Mainten.../implementingACMMS.ht> >. Acesso em: 10/08/2001.

DUNN, Sandy. *Maintenance Terminology – Some Key Terms*. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary> >. Acesso em: (16/01/2002).

DUNN , Sandy . *Reinventing The Maintenance Process – Towards Zero Downtime*. [on line]. Disponível na Internet <<http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/MaintenanceMana.../Reinventing.ht> > . Acesso em : 03/08/2001.

DURKIN , John . *Expert System – Design and Development* . Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall , 1994 .

EDF. *Power Generation – Optimizing your Maintenance*. [on line]. Disponível na Internet < http://www.edf.fr/gb/production/production_8.htm > . Acesso em: 06/02/2002.

EFNMS. *Future Competence Challenges Related to Maintenance and Asset Management* .[on-line]. Disponível na Internet : < <http://www.ini.hr/efnms/publicatios/assetmanagement.html> >. Acesso em: 21/08/2002.

ELETROSUL. *A Função Manutenção na ELETROSUL – Situação Atual e Perspectivas*. Relatório Secom/Funmanu.doc, 1995 , p.04.

EMBRACO – Inteligência Competitiva e Gestão do Conhecimento. [on line]. Disponível na internet < <http://www.embraco.com.br> >. Acesso em: 30/10/2002.

ENDRENYI, J. *Tree State Models in Power Systems Reliability Evaluations*. IEEE Transactions on PAS, july-agost, 1971, p.1909-1916.

EPRI. *Electricity Technology Roadmap*. [on line]. Disponível na Internet <<http://www.epri.com>>. Acesso em: (21/04/2000).

EPRI. *Capturing Undocumented Knowledge of Industry Personnel*. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.epri.com/journal/details.asp?doctype=features&id=389> >. Acesso em: (22/08/2002).

EPS – O Curso: o que se estuda. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.eps.ufsc.br/labs/grad/curso/oqueseestuda.htm> > Acesso em: 13/01/2003.

ESPRIT – European Commission’s Information Technology Research Programme. [on line] Disponível na internet < <http://www.cordis.lu/esprit/home.html> > Acesso em: 24/01/2003

FALBO, Ricardo de A. et al. *A Systematic Approach for Building Ontologies*. In Proceedings of the 6th . Ibero-American Conference on AI on Progress in Artificial Intelligence (IBERAMIA-98), volume 1484 of LNAI, p.349-360. Spring, October, 1998.

FILHO, Gil Branco. *Dicionário de Termos de Manutenção e Confiabilidade*. Segunda edição. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2000.

FIKES, Richard. Knowledge Sharing Technology Project. [on line] Disponível na internet < <http://www.ksl.stanford.edu/kst/kst-overview.html> >. Acesso em: 26/01/2003.

FIKES, Richard. et al. *Tools for Assembling Modular Ontologies in Ontolanguage*. Technical Report KSL-97-03, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, CA, USA, April, 1997.

FLEMING, Paulo V. e FRANÇA, Sandro, R.R. de Oliveira. *Considerações Sobre a Implementação Conjunta de TPM e MCC na Indústria de Processos*. ABRAMAN – 12° Congresso Brasileiro de Manutenção: TT044, 1997, São Paulo, SP.

FONSECA, J. R. Dias. *Manutenção Preventiva e Preditiva de Equipamentos de Alta Tensão*. ABRAMAN – 14° Congresso Brasileiro de Manutenção: TT009, 1999, Foz do Iguaçu, PR.

FONSECA, N. Luiz Alberto et al . *Manutenção Baseada em Confiabilidade – Aexperiência Aeronáutica a Serviço da Indústria em Geral* . ABRAMAN – 10° Congresso Brasileiro de Manutenção : p.27-44 , 1995 , Rio de Janeiro , RJ .

GERAERDS, W. M. J. *Towards a Theory of Maintenance*. London: English University Press, On the Organization of Logistic Support Systems, 1972, p.197-219.

GERAGHETY, Tony. *Obtendo Efetividade do Custo de Manutenção Através da Integração das Técnicas de Monitoramento de Condição, RCM e TPM*. [on line]. Disponível na Internet < http://www.sqlbrasil.com.br/sql-RCM2-ttec_integracaombrcmtpm.html >. Acesso em: 01/10/1999.

GIACOMET, Luiz Francisco. *Um Método para Determinação Qualitativa de Sobressalentes para Hidrogeradores*. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

GIARRATANO, J. e RILEY, Gary. *Expert Systems – Principles and Programming*. Second Edition. Boston, MT: PWS Publishing Company, 1994.

GITS, C.W. *Design of Maintenance Concepts*. International Journal of Production Economics n°24, 1992, p.217-226.

GOLDBECK, Larry. *Dust Control for Belt Conveyors*. [on line]. Disponível na Internet < http://www.electricpowerexpo.com/archive/ep2000/track_6.asp >. Acesso em: 13/02/2002.

GOMES, João Luiz Oliveira et al. *Controle Sistemático da Qualidade da Manutenção em Equipamentos do Setor Elétrico*. XVI SNPTEE: GMI/007, 2001 – Campinas, SP.

GRUBER, Tom. *Ontologia: A Mechanism to Support Portable Ontologies*. Stanford: Knowledge System Laboratory, Stanford University, 1992. Technical Report.

GRUBER, Tom. What an Ontology? [on line]. Disponível na Internet < <http://ksl-web.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html> >. Acesso em: 26/01/2003.

HEIJST, G. Van et al. *Using Explicit Ontologies in KBS Development*. [on line]. Disponível em < <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/IJHCS/VH/> >. Acesso em: 01/03/2002.

HINCHCLIFFE, Glenn R. *Global Conditioned Based Maintenance (CBM) Program at Ontario Hydro*. [on line]. Disponível na Internet < http://www.electricpowerexpo.com/archive/ep2000/track_6.asp >. Acesso em: 13/02/2002.

HIYAMA, Takashi e TOMSOVIC, Kevin. *Current Status of Fuzzy System Applications in Power Systems*. [on line]. Disponível < <http://tomsovic.ees.wsu.edu/Vitae/Publications/HIYA99.pdf> >. Acesso em: 19/05/2002.

HOOG, R. et al. *The CommonKADS Organization Model Content, Usage and Computer Support*. Expert Systems with Applications, 11(1), p.29-40, 1996.

IBROW. *An Intelligent Brokering Service Knowledge-Component Reuse the World Wide Web*. [on line]. Disponível < <http://www.swi.psy.nl/projects/ibrow3/home.ibrow.html> >. Acesso em: 10/06/2002.

IEEE. *IEEE Reliability Society – Reliability Engineering*. [on line]. Disponível na Internet < http://www.ewh.ieee.org/soc/rs/Reliability_Engineering/index.html >. Acesso em: 14/01/2002.

IEEE AIS-02. *IEEE International Conference Artificial Intelligence Systems*. [on line]. Disponível < <http://www.dbai.tuwien.ac.at/marchives/fuzzy-mail/1254.html> >. Acesso em: 19/05/2002.

ISAP 1999. *The International Conference on Intelligent System Application to Power System*. [on line]. Disponível: < <http://www.dbai.tuwien.ac.at/marchives/fuzzy-mail98/0747.html> >. Acesso em: 19/05/2002.

IST. *IST Overview*. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.cordis.lu/ist/overv-1.htm> >. Acesso em: (21/08/2002).

JIPM. *Japan Institute of Plant Maintenance and TPM*. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.jipm.or.jp/en/home/> >. Acesso em: 16/01/2002.

JÚNIOR, J. Hamilton Brito. *A Toyotização nas Equipes de Manutenção da Subestação de Curitiba*. XIV SNPTEE: GMA/009, 1997, Belém, PA.

KADS . *The KADS Approach to Knowledge Engineering . Editorial Special Issue*. [on line]. Disponível na internet: < <http://www.swi.psy.uva.nl/usr/Schreiber/papers/Schreiber92a.html> >. Acesso em: 01/03/2002.

KADS-II. *CommonKADS and the KADS-II Project*. [on line]. Disponível em < <http://www.sics.se/ktm/projects/kads.html> >. Acesso em: 02/01/2002.

KENNEDY, Ross. *Examining the Process of RCM and TPM*. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.plant-maintenance.com/articles/RCMvTPM.shtml> >. Acesso em: 13/01/2002.

KIRBY , Kenneth E. *There is Gold in Those Reliability and Maintenance Practices*. [on line]. Disponível na Internet < http://www.smrp.org/vl/news_winter00-01.html >. Acesso em: 16/01/2002.

KOBACCY, Khairy A. H. et al. *Towards An Intelligent Maintenance Optimization System*. Journal of the Operational Research Society, 1995 – n.46, p.831-853.

KOL – Knowledge on line. Nosso Negócio. [on line]. Disponível na internet: < <http://www.kolnet.com.br> >. Acesso em: 21/12/2000.

LACERDA, Juarez Marques de e JÚNIOR, Pyramo Pires da Costa. *A Informatização Integrada da Manutenção. Seus Desdobramentos e os Sistemas Especialistas*. ABRAMAN - 12º Congresso Brasileiro de Manutenção: TT064 , 1997, São Paulo, SP.

LAMY, Sergio Luiz. *Relatório Especial Prévio*. XVI SNPTEE: GMI/REP, 2001 – Campinas, SP.

LAUDON, Kenneth e LAUDON, Jane Price. *Sistemas de Informação com Internet*. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1999.

LIN ,C. E. et al . *An Expert System for Generator Maintenance Scheduling Using Index* . IEEE - Transactions on Power Systems, Vol.7, August 1992, p.1141-1148.

LINSTER , M. *Sisyphus 91/92 : Models of problem solving* . International Journal of Human Computer Studies . 40 (3) .1994

MARCUS , S. *Automating Knowledge Aquisition for Experts Systems* . Boston : Kluwer Academic Publisher, 1988.

MARTINO, M.B. e FILHO, F. de Assis. *Diagnóstico de Transformadores Utilizando Redes Neurais*. XIII SNTPEE: GEM/012, 1995, Balneário Camboriú, SC.

MASSIE, Paul. *Predictive Program vs. Reliability Program at the John E. Amos Plant* . [on line]. Disponível na Internet < http://www.electricpowerexpo.com/archive/ep2000/track_6.asp >. Acesso em : 13/02/2002.

McCALL, J.J. *Maintenance Policies for Stochastically Failing Equipment: A Survey*. Manage. Sci n° 11, 1965, p.493-524.

McDERMOTT, J. *Preliminary steps toward a taxonomy of problem-solving methods*. In S. Marcus, editor, Automating Knowledge Acquisition for Expert Systems, p.225-256.

MEDSKER, Larry R. *Hybrid Intelligent Systems*. Norwell, USA: Kluwer Academic Publishers, 1995, p.298.

MENESES, Eudenia Xavier. Desenvolvimento de Sistemas Baseados em Conhecimento Abertos utilizando CommonKADS. [on line]. Disponível < <http://www.ine.usp.br/reudenia/ia/semi1.html> >. Acesso em: 06/09/2001.

MEYER, Marilyn et al. *Nosso Futuro e o Computador*. terceira edição, Porto Alegre: Bookman, 2000.

MIL-P-24534 – “*Planned Maintenance System: Development of Maintenance Requirement Cards, Maintenance Index Pages, and Associated Documentation*” (U.S. Naval Sea Systems Command).

MIL-STD 2173 (AS) – “*Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment*” (U.S. Naval Air Systems Command).

MIL-STD-1629 A – “*Military Standard Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*” (Department of Defense). [on line]. Disponível na Internet < <http://jcs.mil/htdocs/teinfo/software/ms18.html> >. Acesso em: 14/02/2002.

MONKS, Joseph G. *Administração da Produção*. São Paulo : MacGraw Hill , 1989 , p.466.

MOROZOWSKI F°, M. e SILVA, E.L. *Programação da Manutenção de Unidades Geradoras em Sistemas em Sistemas Multiárea com Base em Métodos Probabilísticos*. XIII SNPTEE: Aspectos Técnicos e Gerenciais da Manutenção (GMA), 1995 – Camboriú, SC.

MOUBRAY, John. *Novos Desenvolvimentos em Manutenção Centrada em Confiabilidade* . Workshop – 11° Congresso Ibero Americano de Manutenção. Florianópolis , 2001, p.1-2 .

MOUBRAY, John. *RCM II – Reliability – centered Maintenance*. second edition, New York: Industrial Press Inc, 1997 .

MSG-3 – “ *Maintenance Program Development Document,*” – Air Transport Association. Washington DC, Revision 2, 1993.

MUSEN, M. A . et al. *Use of a Domain Model to Drive an Interactive Knowledge Editing Tool* .In Boose , J. H.& Gaines, B. R. editors, *Knowledge – Based Systems* , Volume 2: Knowledge Acquisition Tools for Experts Systems, p. 257-273, London. Academics Press, 1998.

MUSSI JUNIOR, Nelson Haz. *Implantação da MBC na COPEL – XIVSNPTEE – Aspectos Técnicos e Gerencias da Manutenção (GMA)*, 1997, Belém, PA.

MyQ. *Software de Manutenção : Comprar ou Desenvolver ?* . Revista : Nova Manutenção y Qualidade, Rio de Janeiro, ano 7 – nº 28 – 2000 – issn1413-4659.

MyQ. *Software de Manutenção*. Revista: Nova Manutenção y Qualidade, Rio de Janeiro , ano 5 – nº 26 – 1999 – issn 1413-4659.

NASA TM 4628 A – “ *Recommended Techniques for Effective Maintainability* ” (NASA Systems and Equipment). [on line]. Disponível na Internet <<http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/mtecpage/mtechniq.htm> >. Acesso em: 13/02/2002.

NAVAIR 00-25-403 – “*Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Process*” (U.S. Naval Air System Command).

NETHERTON, Dana. *Failure Mode: Issues Surrounding Its Definition*. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.athoscorp.com> >. Acesso em: 16/01/2002.

NONAKA, I. e TAKEUCHI, H. *Criação de Conhecimento na Empresa*. 2ª edição São Paulo: Campus, 1997.

NOWLAN, F. Stanley e HEAP, Howard F. *Reliability-Centered Maintenance*. Department of Defense, Washington, D.C. 1978. Report Number AD-AO66579.

OLSSON, Olle. CommonKADS and The KADS-II Project. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.sics.se/ktm/projects/kads.html> > Acesso em: 02/01/2002.

PAIVA, Antonio C. F. de. *Processo de Implantação da Manutenção Autônoma na UHE Samuel ABRAMAN - 14° Congresso Brasileiro de Manutenção*: TT051, 1999, Foz do Iguaçu, PR.

PARRILA, F.B. et al. *Manutenção – Gestão Compartilhada com a Produção uma Experiência de Sucesso na Votorantim Celulose e Papel*. ABRAMAN – Congresso Brasileiro de Manutenção: TT113, 2001, Florianópolis, SC.

PIERSKALLA, W. P. e VOLKER, J. A. *A Survey of Maintenance Models: The Control and Surveillance of Deteriorating Systems*. Naval Research Logistic Quartely n° 23, 1976, p.352-388.

PINTO, A. de Miranda. *Modelo de Reestruturação da Função Manutenção de Telecomunicações da Celpe – Uma Adaptação Visando Novos Tempos Empresariais*. ABRAMAN – 13° Congresso Brasileiro de Manutenção: TT071, 1998, Salvador, BA.

POST, W. et al. *Organizational Modeling in CommonKADS. The Emergency Medical Service*. IEEE Intelligent Systems 12 (6), p.46-52, 1997.

PRAX, Jean Yves. *Manager la connaissance dans l'entreprise: les nouvelles technologies au service de l'ingenierie de la connaissance*. Paris: INESP, 1997.

PROTEGÉ – II. *The Protégé Project*. [on line]. Disponível < <http://smi-web.stanford.edu/projects/protege/> > . Acesso em : 14/09/2000 .

PUERTA, A . R. et al. *A Multiple Method Knowledge Acquisition Shell for the Automatic Generation of Knowledge Acquisition Tool*. Knowledge Acquisition, 4 (2): 171-196, june 1992.

REIS, Dyr e PATI, N. *Applications of Artificial Intelligence to Condition-Based Maintenance*. RAE – Revista de Administração de Empresas, abr/jun 2000 – São Paulo, v.40, n°2, p.102-107.

RIBEIRO, G. M. et al. *Utilização de Sistema Especialista no Restabelecimento Inteligente de Subestações*. ELARC 95 – VI Encontro Regional Latino-Americano da CIGRÉ: CE 39, 1995, Foz do Iguaçu, PR.

RINGLEE, ROBERT J. et al. *Power System Reliability Calculations*. Massachusetts: M.I.T. Press, 1973.

RUNKEL, J. R., BIRMINGHAM, W.P. and BALKANY, A . *Solving VT by Reuse*. International Journal of Human Computer Studies, 44 (¾), p.403-434, 1996.

SAE-JA1011. *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*. Society of Automotive Engineers: issued AUG 1999.

SAE-JA1012. *A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard*. Society of Automotive Engineers: issued JAN 2002.

SANFORD, Walter e CARY, J. B. *RCM Simplificada*. Revista da ABRAMAN n°70: jan/fev, 1999.

SANTOS, Anderson Rodrigues dos. *Construção de uma base de Conhecimento para projeto de Redes de Telecomunicações utilizando KADS*. 1999. Proposta de Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação. Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. [on line]. Disponível na Internet: < <http://www.dcc.ufmg.br/pos/html/spgg/anais/anderson/anderson.html> > Acesso em: 02/01/2002.

SCHREIBER , G., WIELINGA , B., AKKERMANS, H., VELDE, W.V. de and ANJEWIERDEN, A. *CML: The CommonKADS Conceptual Modeling Language*. Proceedings of 8th. European Knowledge Acquisition Workshop (EKAW'94), September 1994. [on line]. Disponível na internet < <http://web.swi.psy.uva.nl/projects/kads22/cml2doc.html> > . Acesso em: 07/03/2002.

SCHREIBER , G. e WIELINGA , B. . *Knowledge Model Construction* . 1998 . [on line]. Disponível < <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW98/schreiber/> > . Acesso em : 14/03/2002 .

SCHREIBER , Guus . *Pragmatics of the Knowledge Level* . 1992 . Tese de Doutorado submetida a University of Amsterdam , Department of Social Science Informatics .[on line]. Disponível < <http://www.swi.psy.uva.nl/usr/Schreiber92c.html> > . Acesso em: 04/01/2002 .

SILVA, Josenildo Costa da. Aquisição de Conhecimento e Manutenção para uma Sociedade de Agentes Tutores Artificiais. 1999. Dissertação (Mestrado em Informática). Program de Pós-graduação em Informática da Universidade Federal da Paraíba. UFPB. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.dsc.ufpb.br/rcopin/pessoas/alunos/htms/josenildocostadasilva.htm> > Acesso em: 15/01/2001.

SQL/ALADON. Casos Clássicos de Acidentes. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.sqlbrasil.com.br> > Acesso em: 08/02/2002.

SQL Systems. Curso de Formação em RCM2 – Reliability-Centered Maintenance. São Paulo, SP, junho de 2000.

SMITH, Anthony M. *Reliability-Centered Maintenance*. McGraw-Hill, 1993. Printed in United States of America.

SMRP. *SMRP Library*. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.smrp.org/vl/> > . Acesso em: 16/01/2002.

SNPTEE. 16º Seminário Nacional de Produção e transmissão de Energia Elétrica. [on line]. Disponível em < <http://www.canaldaenergia.com.br/agenda.htm> > Acesso em: 14/01/2002.

SOUZA, Márcio Soares de e JÚNIOR, Nelson Haj Mussi. *Implantação da MBC na Copel*. XIV SNPTEE: GMA/18, 1997 – Belém, PA.

SPEEL, Piet-Hein, Aben Manfred. Applying a Library of Problem Solving Methods on a real-life task. [on line]. Disponível na internet: < <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/kaw/kaw96/speel.html> > Acesso em: 10/06/2002.

STEELS, L. *Components of Expertise*. AI Magazine, v.11, n°2, p.28-49, 1990.

STEFIK, M. *Introduction to Knowledge Systems*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1993.

SWARTOUT, B. e GIL, Y. *EXPECT: Explicit representations for flexible acquisition*. In Proceedings of the Nineth Knowledge Acquisition for Knowledge Based Systems Workshop (KAW'95), Banff, Canadá, 1995.

TAVARES , Lourival A . e FILHO, Aristides A. Silva. *A Manutenção Como Uma Atividade Corporativa*. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.abraman.org.br/publicações> > . Acesso em: 08/02/2002.

TAVARES, Lourival Augusto. *Excelência na Manutenção – Estratégias, Otimização e Gerenciamento*. Salvador: Casa da Qualidade Editora Ltda, 1996, p.36.

TERRA, José Cláudio Cyrineu; GORDON, Cindy. Portais Corporativos – A revolução na gestão do Conhecimento. São Paulo:Negócio Editora, 2002.

TIBÚRCIO, Júlio Cesar e SANTOS, C.C. *Diagnóstico e Caracterização da Condição Operacional de Sistemas Elétricos de Potência*. XIII SNPTEE: GOP/058, 1995, Balneário de Camboriú, SC.

TOKADA, Antônio Carlos e TIBA, H. Hachiro. *Experiência da Cesp no Monitoramento de Vibração*. XIV SNPTEE: GMA/017, 1997, Belém, PA.

TOMSOVIC, K. e AMAR, A. *On Refining Equipment Condition Monitoring Using Fuzzy Sets and Artificial Neural Nets*. ISAP'94 – Intelligent System Application to Power Systems: p.363-370, 1994, Montpellier, France.

U.F.M.G. – Universidade Federal de Minas Gerais. *Engenharia de Produção*. [on line] . Disponível na Internet < <http://www.dep.ufmg.br> > Acesso em: 13/01/2003.

U.F.R.G.S. – Universidade Federal do Rio Grande do Sul . *Engenharia de Produção* . (on line) Disponível na Internet < <http://www.producao.ufrgs.br/webgrad/default.htm> >. Acesso em : 13/01/2003.

U.M.R.E. - University of Maryland . *What is Reliability?*. [on line]. Disponível na Internet < <http://www.enre.umd.edu/rel.htm> >. Acesso em: 23/01/2002.

VITAL . *VITAL Workbench* . [on line] . Disponível < <http://kmi.open.ac.uk/people/domingue/vital/vital.html> >. Acesso em: 28/07/2002.

VIZZONI, Edson et al. *Projeto Piloto de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) – Subestação de Adrianópolis – Setor de 500 kV*. ABRAMAN - 14º Congresso Brasileiro de Manutenção: TT048, 1999, Foz do Iguaçu, PR.

WAERN A . et al. *The CommonKADS Communication Model*. ESPRIT Project P5248 Deliverable KADS-II/M3/SICS/TR/003, Swedish Institute of Computer Science, Stockholm, 1993.

WIELINGA, B. e SCHREIBER, G. *Conceptual Modeling on Large Reusable Knowledge Bases*. In: Von LUCK, K. , MARBURGER , H. *Management and Processing of Complex Data Structures*. Berlin: Springer-Verlag, 1994, p.181-200.

WIELINGA, B. et al. *Knowledge Engineering and Management-The CommonKADS Methodology*. Cambridge, MT: The MIT Press, 2000.

WYREBSKI, J. *Manutenção Produtiva Total – Um Modelo Adaptado*. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

ANEXOS

ANEXO 1A

ANEXO 1A

Exemplo de Inferência: Inference Cover

FORMA TEXTUAL (LINGUAGEM CML2)

```

INFERENCE cover;
  ROLES:
    INPUT: complaint;
    OUTPUT: hypotesis;
    STATIC: causal-model;
  SPECIFICATION:
    " Each time the inference is invoked, it a generates a candidate solution that could
    have caused the complaint. The output should be an initial state in the state-
    dependency network which causally 'covers' the input complaint.";
END INFERENCE cover;

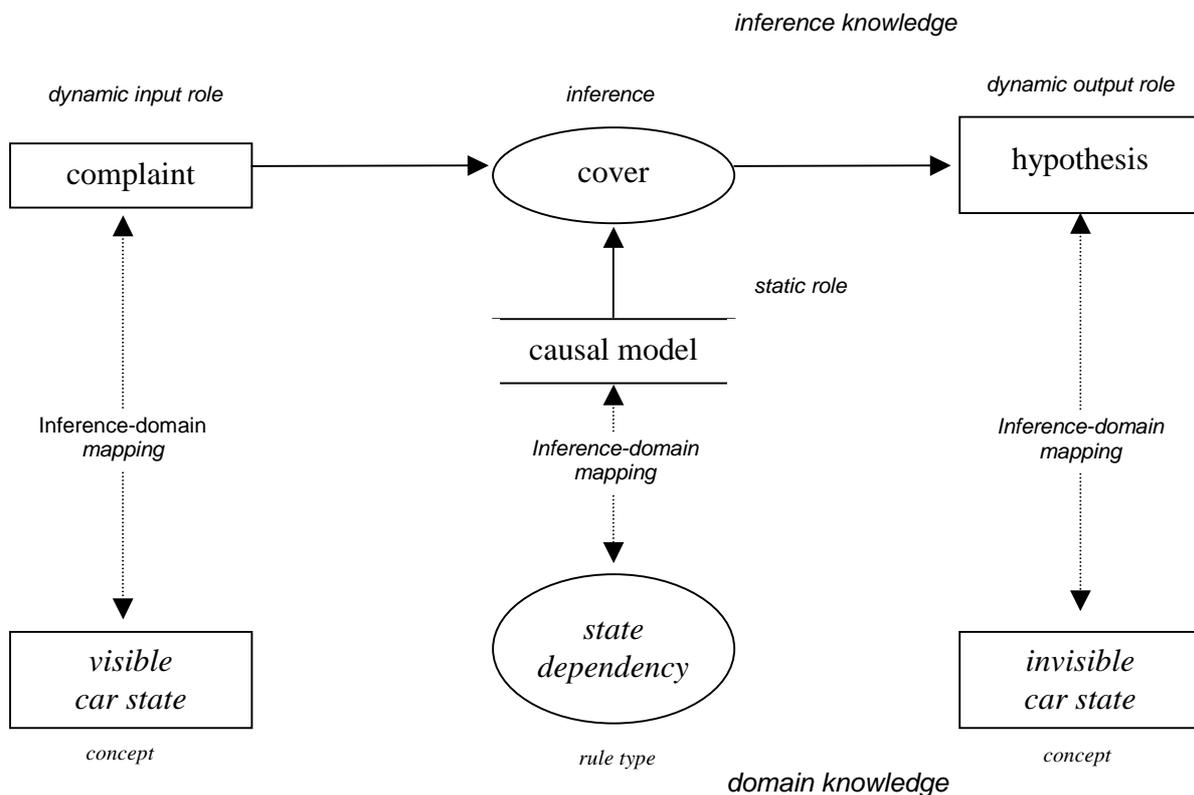
KNOWLEDGE-ROLE complaint;
  TYPE: DYNAMIC
  DOMAIN-MAPPING: visible-state;
END KNOWLEDGE-ROLE complaint;

KNOWLEDGE-ROLE hypotesis;
  TYPE: DYNAMIC
  DOMAIN-MAPPING: invisible-state;
END KNOWLEDGE-ROLE hypotesis;

KNOWLEDGE-ROLE causal-model;
  TYPE: STATIC
  DOMAIN-MAPPING: state-dependency FROM car-network;
END KNOWLEDGE-ROLE causal-model;

```

FORMA GRÁFICA:



Fonte: Wielinga (2000, p.106-107)

ANEXO 1B

ANEXO 1B

Primitivas de Inferências do CommonKADS (Abel, 2002)

<i>INFERÊNCIA</i>	<i>SIGNIFICADO</i>
Abstrai	A entrada é um conjunto de dados e a saída é um modelo abstrato daqueles dados.
Avalia	A entrada é um conjunto de dados e uma norma e a saída é um valor-verdade indicando se os dados se adequam à norma.
Classifica	A entrada é um conceito e a saída é a classe a qual o conceito pertence.
Cobre	A entrada é um efeito e a saída é o estado do sistema que deve ter causado este efeito.
Combina	A entrada é um conjunto de dados e a saída é uma organização coerente destes dados
Compara	A entrada são dois valores e a saída é um valor verdade, definido se eles são iguais ou diferentes.
Confronta	A entrada são dois conjuntos de dados e a saída é uma medida de similaridade entre os dois conjuntos de dados.
Decompõem	A entrada é um conceito único e a saída é o conjunto das partes que o compõe.
Especifica	A entrada é um objeto e a saída é um novo objeto associado de alguma maneira com o objeto da entrada.
Gera	A entrada é uma descrição (detalhes de um sistema, requisitos) e a saída é uma solução, de acordo com um conjunto de normas.
Ordena	A entrada é um conjunto de dados e a saída são os dados ordenados segundo algum critério.
Seleciona	A entrada é um conjunto de dados e a saída é um elemento ou subconjunto desses dados.

ANEXO 2

ANEXO 2

TASK car-diagnosis (Wielinga, 2000, p.114-115)

Exemplo de Tarefa

TASK

TASK car-dignosis;

GOAL:

“Find a likely cause for complaint of the user”;

ROLES:

INPUT:

complaint: “Complaint about the bahavior of the car”;

OUTPUT:

fault-category: “ A hypotesis explained by the evidence”;

evidence: “Set of observations obtained during the diagnostic process”;

SPEC:

“Find na initial state that explains the complaint and is cosistent with the evidence obtained”;

END TASK car-diagnosis;

TASK-METHOD

TASK-METHOD: diagnosis-through-generate-and-test;

REALIZES: car-diagnosis;

DECOMPOSITION:

IFERENCES: cover, predict, compare;

TRANSFER-FUNCTIONS: obtain;

ROLES:

INTERMEDIATE:

Hypotesis: “A candidate solution”;

Expected-finding: “The finding predicted, in case the hypotesis is true”;

Actual-fining: “The finding actually observed”;

Result: “The result of the comparison”;

CONTROL-STRUCTURE:

WHILE NEW SOLUTION cover (complaint → hypotesis);

DO

predict (hypotesis → expected-finding);

obtain (expected-finding → actual-finding);

compare (expected-finding+actual-finding → result);

IF result = = equal;

THEN “break from loop”;

END IF

END WHILE

IF result = = equal

THEN fault-category: = hypotesis;

ELSE “no solution found”;

END IF

ANEXO 3

ANEXO 3

Projeto Piloto de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC). Subestação de Adrianópolis setor de 500kV.

Conforme descrito no Capítulo 7 desta tese, utilizou-se a experiência de Furnas Centrais Elétricas para mostrar a formação de um grupo de RCM e os trabalhos iniciais necessários que permitam propiciar a obtenção das respostas das 4 primeiras questões, que se encontram no anexo5 (SQL/ALADON).

Projeto Piloto de Furnas, segundo VIZZONI (1999);

1. INTRODUÇÃO

Uma forte característica do ambiente industrial contemporâneo é a acirrada competição, o que leva as empresas a procurarem minimizar seus custos. A área de manutenção, em geral, é vista como um dos setores mais propícios à implementação de programas de redução de custos. Mas como otimizar a relação custos/benefícios da manutenção num cenário, como o do setor elétrico brasileiro, em que há perda de mão-de-obra experiente e o aumento da necessidade de aperfeiçoamento de processos?

Uma resposta é a adoção de programas de manutenção preventiva que introduzam melhorias na qualidade dos serviços e na política de manutenção das empresas. Neste campo a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) tem apresentado bons resultados. A exemplo de outras empresas do setor elétrico, FURNAS está investindo na avaliação da aplicabilidade da MCC a seus sistemas, tendo iniciado esta investigação pelo projeto piloto cujos resultados iniciais serão aqui apresentados.

2. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)

Moubray [6] define a MCC como “um processo usado para determinar os requisitos de manutenção de um item físico em seu contexto operacional”. Smith [7] considera que são quatro os objetivos da MCC: preservar as funções do sistema; identificar modos de falhas que afetem essas funções (falhas funcionais); determinar a importância das falhas funcionais analisando os modos de falhas; selecionar tarefas aplicáveis e efetivas na prevenção das falhas funcionais. Para implementar esses objetivos, Smith propõe sete passos, que foram seguidos no desenvolvimento do projeto piloto "Subestação de Adrianópolis - Setor de 500 kV". Estes passos são descritos a seguir:

- Passo 1 - Seleção do Sistema e Coleta de Informações

Determinação do que será analisado e em que nível: planta industrial, sistema, equipamentos (ou componentes).

- Passo 2- Definição das Fronteiras do Sistema

Identificação das fronteiras entre os sistemas componentes da unidade industrial.

- Passo 3 - Descrição do Sistema/Diagrama de Blocos Funcionais

Documentação de dados como descrição do sistema, diagrama de blocos das funções, interfaces de entrada e saída, lista de equipamentos e seu histórico.

- Passo 4 - Funções/Falhas Funcionais

Identificação das funções do sistema e dos modos de falha funcionais.

- Passo 5 - FMECA - Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falhas

Identificação do papel que os equipamentos têm nas falhas funcionais.

- Passo 6 - LTA - Análise da Árvore Lógica

Caracterização das falhas funcionais de acordo com suas conseqüências.

- Passo 7 - Seleção de Tarefas Preventivas

Seleção das tarefas viáveis e efetivas na prevenção das falhas funcionais. Faz-se, ainda, a comparação entre o programa de manutenção preventiva existente e o proposto pela MCC e uma revisão do processo, em busca de erros e omissões.

3. PROJETO PILOTO DE MCC - SETOR DE 500 kV DA STAD

Um dos pontos enfatizados pela MCC é a importância da formação de grupos de trabalhos que congreguem profissionais com vivência nas áreas de manutenção e operação dos sistemas a serem analisados. De acordo com isto, para o desenvolvimento do projeto "Subestação de Adrianópolis - Setor de 500 kV", foi formado um grupo de trabalho composto pelos autores supracitados, com a participação eventual de outros profissionais.

Os componentes do grupo de trabalho são engenheiros, técnicos e operadores com bastante experiência. Nem todos tinham um bom conhecimento das bases da MCC, mas bastaram umas poucas palestras e discussões para a equalização desse conhecimento entre os participantes do grupo.

O trabalho foi desenvolvido em reuniões regulares do grupo, cujos resultados foram registrados cuidadosamente. Os resultados aqui apresentados correspondem à primeira fase do trabalho, à qual se seguirá a fase definitiva, quando todo o processo é revisto. Nesta segunda fase é que serão feitas sugestões formais para melhorias dos atuais programas de manutenção e para a introdução de novas tecnologias, métodos e procedimentos de manutenção.

3.1. Passo 1 - Seleção do Sistema e Coleta de Informações

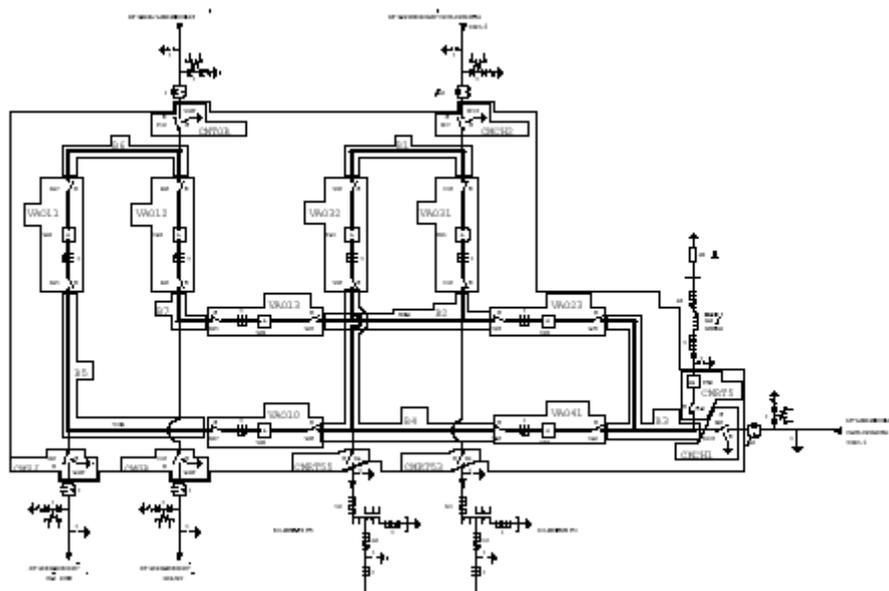


Figura 1 – Unifilar / Setor 500 kV Subestação de Adrianópolis

A Subestação de Adrianópolis (STAD.O), em Nova Iguaçu, Estado do Rio de Janeiro, tem potência instalada de 1795 MVA, com tensões 500/345/138 kV. Dentre os setores que a compõem, selecionamos o de 500 kV (Figura 1) por serem representativos de todos os setores dessa tensão nas subestações de Furnas. Outra razão é o interesse especial que os seccionadores têm merecido por parte da Manutenção, face ao número de defeitos que têm apresentado (Castro [1]).

3.2. Passo 2 - Definição das Fronteiras do Sistema

3.2.1. Visão Geral das Fronteiras - Equipamentos/Instalações: o setor é composto por disjuntores, seccionadores, barramentos, conectores, transformadores de instrumentos (TCs e TPs), seccionadores-terra, cabos, estruturas metálicas e de concreto.

3.2.2. Visão Geral das Fronteiras - Fronteiras Físicas Primárias: começam com os seccionadores de fonte SC9517 (associados ao fornecimento de reativo pela LT AD/Torre-171), SC6427 e SC9437 (associados às linhas de Cachoeira Paulista) e o disjuntor de fonte DJ956R (associado ao fornecimento de reativo do REATOR 5) e terminam nos seccionadores de carga SC9617 e SC9627 (ligados às linhas de transmissão de São José e Grajaú) e SC911 e SC921 (ligados aos bancos de transformadores TR55 e TR53). É importante salientar que estes seccionadores e o disjuntor delimitam as fronteiras do sistema e dele fazem parte.

3.2.3. Visão Detalhada das Fronteiras: as fronteiras são classificadas como interfaces de entrada (IE), de saída (IS) e interfaces internas de saída (IES), conforme sejam entradas, saídas ou interligações entre componentes do sistema. As fronteiras IE e IS de nosso sistema estão na Tabela 1. O código cadastral identifica cada equipamento, seccionadores e disjuntores, possibilitando saber seus dados técnicos, tipos e localização física (as referências aos fabricantes, partes alfabéticas dos códigos, foram modificadas para garantia de sigilo).

Tabela 1 - Visão Detalhada das Fronteiras do Sistema

TIPO DE FRONTEIRA	FRONTEIRA	EQUIPTO	CÓDIGO CADASTRAL
IE-Interface de entrada	Banco de reatores 5	DJ956R	0405.CCC.05.024
IE-Interface de entrada	LT ADCH1	SC9427	0413.EEE.01.094
IE-Interface de entrada	LT ADCH2	SC9437	0413.EEE.01.128
IE-Interface de entrada	LT AD/TORRE-171	SC9517	0413.EEE.01.098
IS-Interface de saída	Banco de transformadores TR53	SC921	0413.DDD.09.005
IS-Interface de saída	Banco de transformadores TR55	SC911	0413.EEE.01.026
IS-Interface de saída	LT ADGR	SC9627	0413.EEE.01.107
IS-Interface de saída	LT ADSJ	SC9617	0413.EEE.01.106

3.3. Passo 3 - Descrição do Sistema/Diagrama de Blocos Funcionais

3.3.1. Descrição do Sistema e Subsistemas O sistema estudado é composto pelos equipamentos de manobra e barramentos do setor de 500 kV. Suas fronteiras são os seccionadores e o disjuntor do reator 5 que saem deste setor. A proteção, o serviço auxiliar e o controle da subestação são externos ao sistema e considera-se que estejam funcionando adequadamente.

São considerados subsistemas os vãos, os barramentos e os conjuntos de manobra formados por equipamentos que isolam linhas e os que manobram o reator 5.

Os subsistemas “vãos” são formados por dois seccionadores e um disjuntor, sendo indicados pelos seus respectivos números, por exemplo, VÃO10, VÃO12 etc.

Para os subsistemas “barramentos” foi criada uma numeração seqüencial precedida da letra B. Assim, B3 é a denominação do barramento 3.

Os subsistemas “conjuntos de manobra de linha” são formados por um seccionador (e um seccionador-terra, quando for o caso) e são indicados no trabalho como CM + “abreviação do nome da linha a que estiver ligado”. Por exemplo, CMGR é o conjunto de manobra correspondente à linha LT Adrianópolis-Grajaú. O subsistema dos equipamentos que manobram o reator 5 é tratado como CMRT5.

O sistema e os subsistemas do projeto piloto estão representados no diagrama de blocos funcionais mostrado no item 3.3.4.

3.3.2. Descrição Funcional/Parâmetros Fundamentais

O setor de 500 kV tem as seguintes funções:

- 1) Enviar/receber fluxo de potência para o sistema, dentro dos níveis de confiabilidade estabelecidos.
- 2) Permitir controle de reativo pelo reator 5 e LT AD-Torre 171.
- 3) Manter fluxo de potência entre as barras.
- 4) Isolar equipamentos/instalações para manutenção.
- 5) Isolar faltas.

3.3.3. Dispositivos de Redundância/Proteção/ Instrumentos/ Medidores

Tendo uma configuração em anel, o sistema tem grande flexibilidade operativa, do que decorre um nível intrínseco de redundância. Conta, ainda, com proteção STUB BUS, BREAK FAILURE e contra sobretensão. Os seccionadores têm intertravamento elétrico e mecânico com os disjuntores e seccionadores-terra. Transformadores de instrumentos (TCs e TPs) são empregados em medições de corrente, tensão e ângulo de fase.

3.3.4. Diagrama de Blocos Funcionais do Sistema

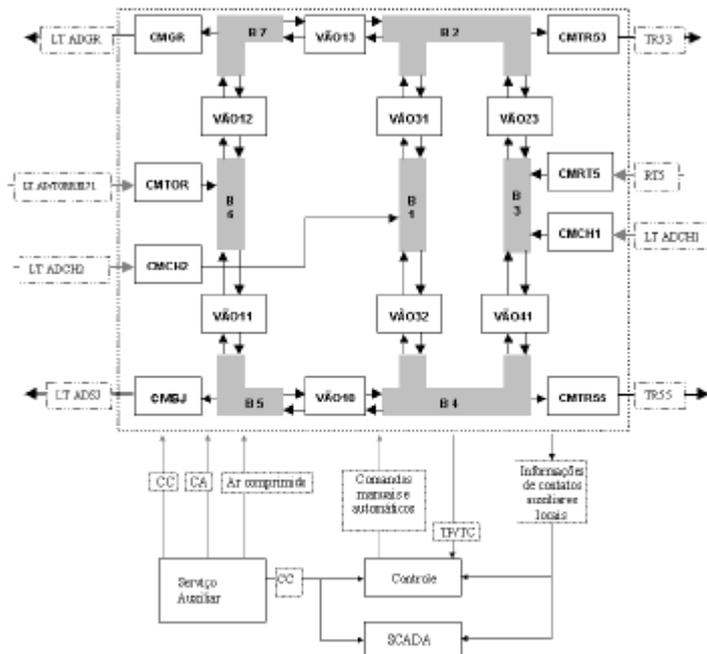


Figura 2 - Diagrama de Blocos Funcionais

Cabe ressaltar que um ponto crucial do trabalho foi a elaboração do diagrama de blocos funcionais. O grupo começou com diagramas semelhantes aos vistos em livros e, à medida que estes se mostraram inadequados, foi abandonando-os por outros mais de acordo com a realidade do sistema em estudo, até que se chegou ao diagrama visto na Figura 2.

Uma das principais características deste modelo é a facilidade de definição das funções de cada subsistema. Seu potencial de aplicabilidade a sistemas elétricos leva a concluir que os critérios adotados nesta representação poderão ser estendidos a quaisquer outras configurações elétricas.

3.3.5. Interfaces de Entrada/Saída/Interfaces Internas de Saída

Entrada: fluxo de potência CA, alimentação CA/CC do serviço auxiliar, sinais de comando.

Saída: fluxo de potência CA, sinais de proteção e sinais de supervisão.

3.3.6. Listagem de Equipamentos do Sistema

Em função de sua criticidade operativa para o sistema e dos custos de manutenção envolvidos, são analisados neste trabalho somente os disjuntores e seccionadores componentes do setor de 500 kV, listados parcialmente na Tabela 2.

Tabela 2 - Listagem Parcial de Equipamentos do Sistema (Parcial)

Equipamento	Família	Num. Operação	Total	Localização
Disjuntor	0402AAA04	DJ9316	2	VÃO31
		DJ9326		VÃO32
	0402BBB02	DJ9126	6	VÃO12
		DJ9416		VÃO41
		DJ9106		VÃO10
		DJ956R		CMRT5
Seccionador	0405CCC05	DJ956R	1	CMRT5
	0413DDD09	SC9317	6	VÃO31
		SC921		CMTR53
		SC957R		CMRT5
	0413EEE01	SC911	18	CMTR55
		SC9627		CMGR
		SC9437		CMCH2
	0413FFF02	SC9620T	5	CMGR
		SC9420T		CMCH1
		SC9430T		CMCH2

3.3.7. Histórico de Falhas dos Equipamentos

Apresentamos, na Tabela 3, para ilustração, alguns dos modos de falhas dos disjuntores sob análise, já ocorridos ou passíveis de ocorrerem. Na elaboração desta tabela foram analisadas ocorrências nos equipamentos no período 1990 a 1998.

Tabela 3 - Histórico de Falhas de Equipamentos do Setor de 500 kV da STAD (Parcial)

Equip	Modos de Falha	Causas da Falha
DJ	1. Disjuntor não abre	1.1. Mau contato no circuito de comando
		1.2. Mau contato na chave de contatos auxiliares
		1.3. Defeito no relé de abertura
		1.4. Defeito no relé hidráulico
		1.5. Quebra da haste de acionamento
		1.6. Quebra do pistão de acionamento
		1.7. Defeito no mecanismo de acionamento do cárter
		1.8. Desajuste/quebra da chave de contatos auxiliares
DJ	2. Disjuntor não fecha	2.1. Defeito no temporizador (52bb)
		2.2. Mau contato na chave de contatos auxiliares
		2.3. Mau contato no circuito de comando
		2.4. Defeito no relé de fechamento
		2.5. Queima da bobina de fechamento
		2.6. Defeito no mecanismo de acionamento do cárter
		2.7. Desajuste/quebra da chave de contatos auxiliares
DJ	3. Disjuntor abriu/fechou sem comando	3.1. Desajuste em manostatos/presostatos
		3.2. Vazamento acentuado de ar comprimido
		3.3. Vazamento acentuado de SF6
		3.4. Vazamento acentuado de óleo hidráulico
		3.5. Falha na bomba
SC	6. Seccionador não abre	6.1. Falha no comando mecânico
		6.2. Defeito no intertravamento
		6.3. Quebra da bracaadeira da haste de comando
		6.4. Quebra do pinhão da caixa de redução
SC	7. Seccionador não fecha	7.1. Falha no comando mecânico
		7.2. Defeito no intertravamento
		7.3. Quebra da biela de acionamento da lâmina
		7.4. Quebra da bracaadeira da haste de comando
		7.5. Quebra do pinhão da caixa de redução

ANEXO 4

Parte 1: Colocação do Problema

1 Introdução

A Figura 1 abaixo mostra um tanque usado para armazenar benzeno (C_6H_6). O benzeno é usado como um solvente em um processo químico de mistura.

O processo requer até 18.000 litros de benzeno a intervalos de cinco horas. A natureza do processo é tal que cada mistura tem que ser fornecida no máximo em uma hora. Depois de usada, cada mistura de benzeno passa de volta ao tanque através de uma instalação de recuperação de solvente. Benzeno composto é adicionado através do sistema de recuperação, o qual não faz parte desta análise.

A recuperação do solvente começa três horas depois que cada mistura foi retirada, e o benzeno é bombeado de volta para o tanque, a uma taxa mínima de 400 litros por minuto.

O processo de fluxo descendente é encerrado por oito horas, uma vez a cada seis semanas, para fins de limpeza. Do contrário, a demanda pelo produto final é tal, que a companhia pode vender tudo o que é produzido, por isso a instalação funciona 24 horas por dia, sete dias por semana e 52 semanas por ano.

A temperatura ambiente não fica abaixo de 6°C.

O sistema de armazenamento de benzeno opera automaticamente e é supervisionado por um operador em uma sala de controle localizada na instalação de produção a 30 metros de distância. O benzeno é cancerígeno e tem as seguintes características físicas:

- *ponto de fulgor*: -11°C (a temperatura em que ele libera vapor suficiente para formar uma atmosfera explosiva que pode ser inflamada por uma chama ou centelha)
- *ponto de fusão*: 5°C (o fato de o ponto de fusão ser maior que o de ignição significa que, entre -11°C e 5°C, o benzeno é um sólido, mas ainda libera vapor suficiente para formar uma atmosfera explosiva)
- *ponto de ebulição*: 80°C
- *temperatura de ignição*: 560°C (a menor temperatura em que ocorre a ignição sem chama ou centelha).

2 Detalhes do Sistema do Tanque

O Tanque

O tanque tem uma capacidade total de 45.000 litros. Ele é feito de aço doce e é apoiado sobre apoios de aço que, por sua vez, estão aparafusados nas fundações de concreto. Para acomodar as mudanças de temperatura, o tanque tem uma extremidade fixa e outra com movimentação livre. (A superfície do apoio na extremidade livre é revestida de PTFE, para permitir o movimento).

Para fins de inspeção, o tanque está montado com uma entrada de inspeção, que possui um diâmetro interno de 600 mm.

O tanque também está montado com um respiradouro conectado a intervalos de vaporização na instalação de recuperação de solvente, para formar um sistema de balanceamento de vapor. À medida que o nível de benzeno no tanque sobe e desce, o vapor flui para frente e para trás entre o tanque e a instalação de recuperação de solvente, na direção oposta ao fluxo de benzeno. Isso evita a liberação de vapor na atmosfera e também a formação de novo vapor. Uma malha corta-chamas está instalada no respiradouro, entre o tanque e a instalação de recuperação de solvente.

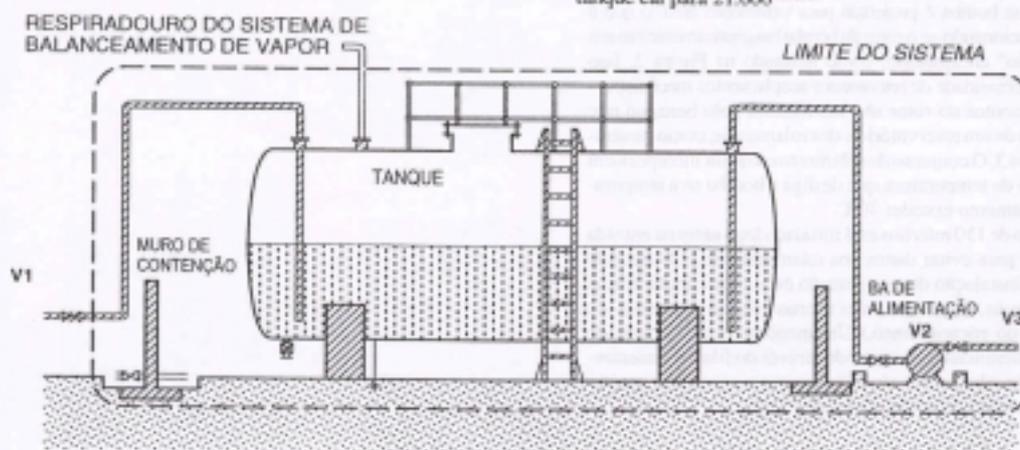
(Se a pressão no sistema de balanceamento de vapor atingir 12 mBarg, um sistema de recuperação de vapor exaure o excesso de vapor através de um leito de carbono ativado. Este é, em seguida, regenerado, para recuperar benzeno líquido. O sistema de recuperação também admite ar no sistema de balanceamento de vapor, quando a pressão cai para menos de -10 mBarg.)

O tanque é eletricamente aterrado, para evitar a formação de eletricidade estática durante o enchimento, o que poderia causar centelhas. Ele também está montado com uma válvula de drenagem manual que permite o tanque a ser drenado para fins de manutenção. (Exceto os últimos 200 litros de benzeno, todo o resto pode ser removido através da bomba de saída, utilizando-se a bomba de alimentação ou, se necessário, um sifão.)

O tanque está montado com uma medição de nível de pulso-eco ultrassônico e com sistema de controle de nível alto/baixo que:

- envia um sinal para ativar uma bomba de abastecimento na instalação de recuperação de solvente, quando o nível do tanque cai para 21.000 litros.

FIGURA 1



- fecha a bomba de abastecimento, quando o nível do tanque atinge 39.000 litros
- indica o nível do tanque na sala de controle
- ativa um alarme na sala de controle, se o nível do tanque cair para menos de 20.500 litros. (Normalmente, este é o sinal para os operadores de que está na hora de adicionar mais benzeno ao sistema - um processo ativado manualmente - se não houver qualquer vazamento. Também pode ser um alerta de que o benzeno está saindo do tanque mais rapidamente do que está retomando da recuperação de solvente.)

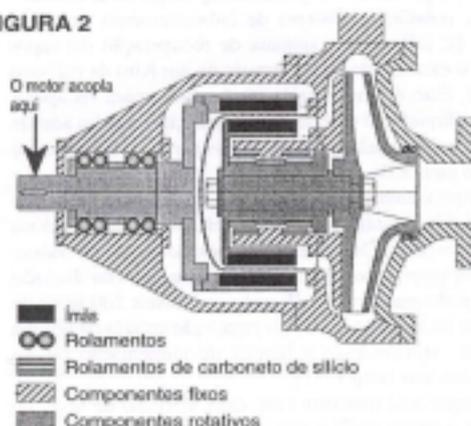
O tanque também está montado com um calibrador pneumático de operação hidrostática, para fornecer indicação local do conteúdo do tanque.

O interruptor de nível alto tem como reserva uma chave de bóia final de nível alto (normalmente fechada) que fecha a instalação de recuperação de solvente e faz soar um alarme na sala de controle, se o nível do tanque atingir 42.000 litros.

De forma semelhante, uma chave de bóia final de nível baixo (normalmente fechada) faz soar um alarme e fecha as bombas tanto de abastecimento quanto de liberação, se o nível do tanque cair para 2.000 litros.

Três válvulas operadas manualmente (V1, V2 e V3) são usadas para isolar a parte de abastecimento do tanque e da bomba. Uma válvula de pé sem retorno também está localizada na entrada da bomba de alimentação, para auxiliar na ativação da bomba. O acesso ao topo do tanque é feito através de uma escada de aço em um compartimento circundado por corrimãos de aço.

FIGURA 2



A bomba

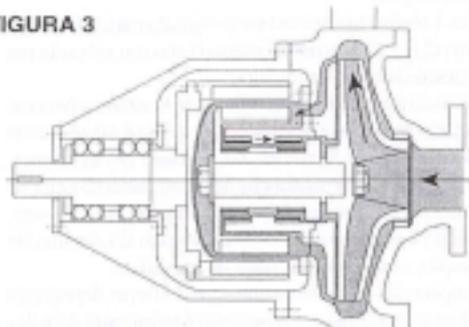
O benzeno é liberado do tanque ao processo através de uma bomba de centrifugação com uma capacidade nominal de 350 litros por minuto. Essa bomba é projetada para vazamento zero, o que é alcançado acionando-se o rotor da bomba magneticamente em um "reservatório" encapsulado, como mostrado na Figura 2. Isso elimina a necessidade de retentores e acoplamentos mecânicos.

Os rolamentos do rotor são lubrificados pelo benzeno que flui através de um reservatório e dos rolamentos, como mostrado na Figura 3. O conjunto de rolamentos do rotor incorpora um dispositivo de temperatura que desliga a bomba se a temperatura do rolamento exceder 70°C.

Um filtro de 150 microns está instalado logo antes na entrada da bomba, para evitar danos aos rolamentos de carboneto de silício. (A instalação de recuperação de solvente inclui filtros de 20 microns, logo este filtro apenas captura partículas do tanque ou do encanamento.) Um manômetro (calibrador de pressão) diferencial está montado através do filtro e disseramos que a bomba provavelmente começa a apresentar cavitação, se a pressão diferencial exceder 7 psi.

A bomba é acionada por um motor elétrico de 2kW à prova de fogo. O motor está montado com proteção contra sobrecarga que desliga a energia, se o empuxo da corrente exceder 6 amps. Ela também incorpora um circuito de proteção contra funcionamento a seco, que desliga o motor sob condições de fluxo baixo ou operação a seco.

FIGURA 3



O painel de simulação na sala de controle possui luzes que indicam quando a bomba é ligada ou desligada, e luzes separadas que indicam quando ela é desativada devido a "Sobrecarga do Motor", "Alta Temperatura" ou "Funcionamento a seco". O painel de controle local contém um disjuntor manual que permite que o motor seja desligado no local. O painel também inclui luzes indicadores locais que mostram se o motor da bomba está ligado ou desligado.

Estão localizados na portaria, na entrada da instalação, vários "interruptores dos bombeiros" que permitem que os bombeiros desliguem todo equipamento elétrico em áreas específicas da instalação em caso de incêndio. Um desses interruptores dá conta do sistema de benzeno.

O muro de contenção

O tanque é circundado por um muro de contenção de um metro de altura com uma capacidade de 50.000 litros. O piso e a parede de contenção são impermeáveis ao benzeno. Um dreno incorporado ao muro de contenção é usado para drenar águas pluviais. Quando não o faz, é mantido fechado.

ANEXO 5

INFORMAÇÕES RCM II P © 1996 ALADON LTD		COMPONENTE Sistema de Armazenamento de Benzeno		Identificado por	Revisado por	Data	de
		Ref		Edição 2			
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA (Causa de falha)	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha?)				
1	Fornecer benzeno ao processo a uma taxa mínima de 300 litros/minuto (contínuo)	B Abastecer benzeno a menos de 300 litros por minuto	1 Propulsor de bomba gasto 2 Formação de partículas de ferro dentro do reservatório 3 Filtro parcialmente bloqueado	O fluxo através da bomba gradualmente cai, à medida que o propulsor se deteriora. Eventualmente a bomba leva mais de uma hora para transferir 18.000 litros de benzeno ao processo. Isso seria mencionado pelos operadores do processo. A substituição do cartucho do propulsor leva quatro horas A formação de partículas de ferro reduz a eficiência da transmissão magnética. Se isso não causar sobrecarga do motor ou superaquecimento e parada da bomba, a bomba leva mais de uma hora para transferir 18.000 litros de benzeno ao processo. A substituição do cartucho do propulsor leva quatro horas Um filtro parcialmente bloqueado pode reduzir a taxa de fluxo para menos de 300 litros/minuto, sem interferir na operação da bomba. Um calibrador de pressão diferencial está montado ao longo do filtro e o fluxo cai para menos de 300 litros/minuto, quando a pressão diferencial chega a cerca de 7 psi (0,5 bar). Os operadores do processo também podem consultar o fluxo baixo. A taxa do filtro leva quinze minutos			
2	Controlar o benzeno e o vapor de benzeno	A Incapacidade de controlar o benzeno	1 Vazamento do tanque devido a uma falha de solda 2 Vazamento do tanque devido à corrosão	Um pequeno vazamento faz soar o alarme do nível baixo na sala de controle, quando o nível cai para 20.500 litros. Um vazamento maior aciona tanto o alarme de nível baixo quanto o alarme final de nível baixo, que faz soar um alarme posterior e desativar todo o processo de benzeno. Qualquer vazamento do tanque deve ser controlado dentro de caratela e tem que ser bombeado para fora com as precauções apropriadas. Porém, aumenta muito o risco de incêndio, até que a caratela e o tanque sejam limpos e descurados. Se não ocorreu um incêndio, a drenagem da caratela leva pelo menos duas horas, e é necessário evacuar as pessoas da parte da instalação. O reparo do tanque leva vários dias, mas disposições alternativas para o armazenamento do benzeno poderiam ser feitas em dois dias A presença de benzeno dentro do tanque significa que é improvável a corrosão de dentro para fora. Ela é perigosa por fora para impedir a corrosão e a pintura tem uma vida de projeto, nesta aplicação, de dez anos. Também considera-se que riscos de ferrugem ou corrosão externa devem ser evitados na parte de fora (tais como bolhas sob a pintura ou riscos de ferrugem na superfície), antes de causar um vazamento. Se realmente ocorrer um vazamento, a caratela se enche de benzeno e tem que ser drenada, aumentando o risco de incêndio e sendo, portanto, necessária a evacuação das pessoas de dentro da instalação. Os sinais de ferrugem ou corrosão sob visíveis como bolhas sob a pintura ou riscos de ferrugem na superfície do casco. A substituição do casco leva três dias			
			3 Colapsos de apo falham devido à corrosão	O colapso total de um dos colapsos de aço faz com que uma extremidade do tanque caia sobre uma borda arredada, com perfuração quase certa do tanque. A caratela se enche de benzeno e tem que ser drenada, aumentando o risco de incêndio e sendo, portanto, necessária a evacuação das pessoas de dentro da instalação. Os sinais de ferrugem ou corrosão sob visíveis como bolhas sob a pintura ou riscos de ferrugem na superfície do casco. A substituição do casco leva três dias			
			4 Tanque agora ao suporte na extremidade livre e a temperatura varia mais de 35°C	Extremas flutuações de temperatura poderiam causar a ruptura do tanque, enchendo a caratela de benzeno. (Veja também a função 26 abaixo)			

PLANILHA DE INFORMAÇÕES RCM II P © 1996 ALADON LTD

ITEM	Sistema de Armazenamento de Benzeno		Nº	RCM/04P	Realizado por	Data	folha
COMPONENTE			Ref	Tafição 2	Revisado por	Data	de

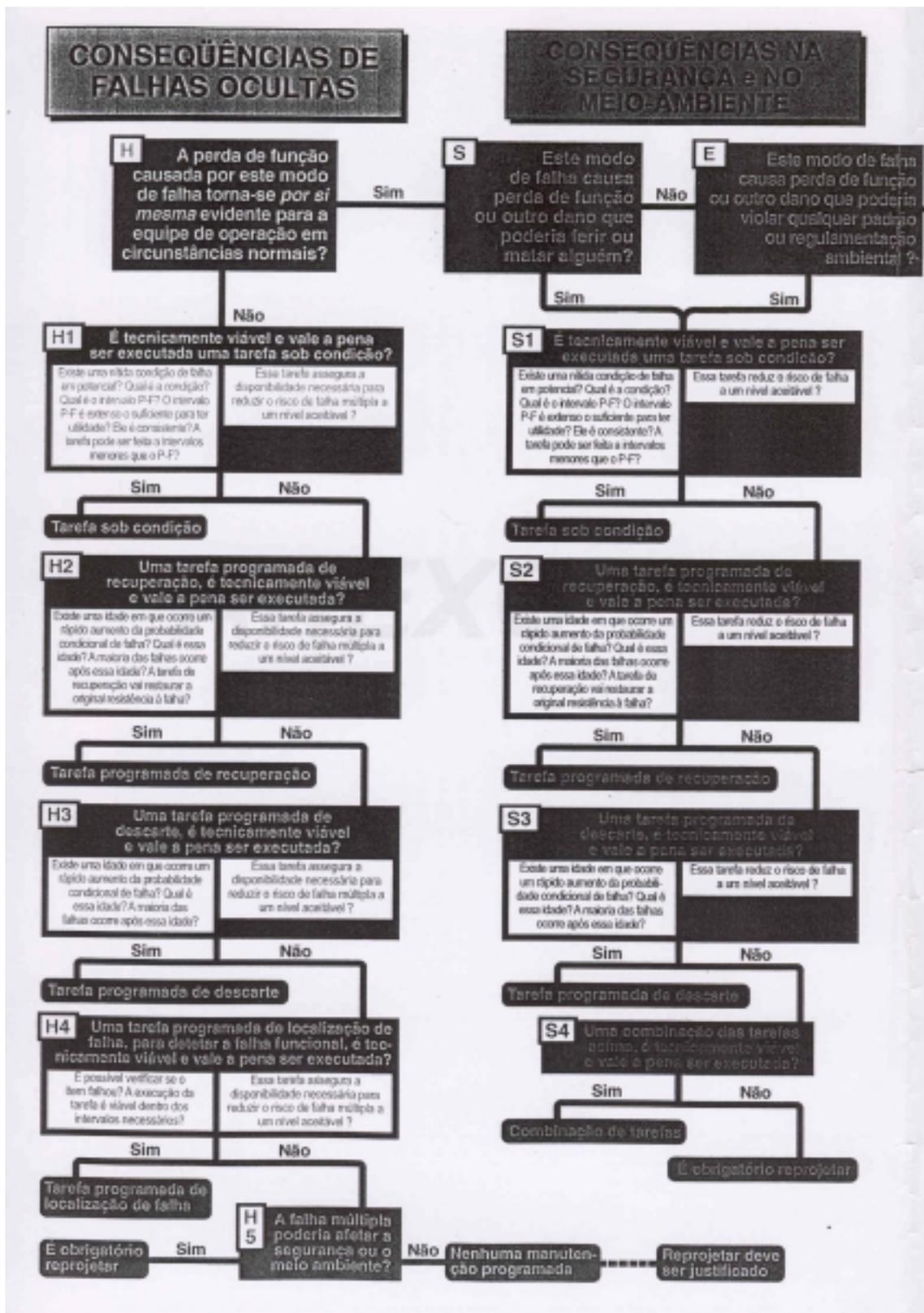
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA (Cause de falha)	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
benzeno (continuação)	(continuação)	encanamento	encanamento vai provocar uma descarga no solo e, portanto, aumentar o risco de incêndio. No entanto, considere-se que todas essas falhas sejam precedidas de pequenos vazamentos. A depuração do encanamento e a substituição da gaveta fangosa levam seis horas
	6	Gaveta na bomba revestido incorretamente	O revestimento é envolvido pelo revestimento externo da bomba e é projetado para suportar, montado, uma pressão de 16 bar, portanto, considere-se que a bomba somente pode vazaz se um anel de vedação ou gaveta estiverem montados incorretamente. Se isso não se tomar imediatamente evidente durante os testes após a instalação, considere-se que a falha seja precedida de pequenos vazamentos. A bomba também está localizada fora do muro de contenção portanto, vazamentos neste ponto provocam descargas no solo. A substituição da gaveta da bomba leva cinco horas
	7	Interruptor de nível alto e interruptor final de nível alto ambos falham em fechar a bomba de abastecimento	O benzeno pode ser expelido para dentro do muro de contenção através de um respiradouro do tanque. Veja modos de falha 4 - B - 1 e 7 - A - 1, abaixo
	B	Falha em conter o vapor de benzeno	A falta de uma tampa na entrada de inspeção aumenta muito a proporção em que o vapor de benzeno escapa para a atmosfera, aumentando significativamente o risco de incêndio. Isso também significa que águas pluviais ou outras substâncias da atmosfera podem entrar no benzeno, o que poderia interferir no processo de fluxo descendente. A localização e a substituição da tampa geralmente levam alguns minutos
	2	Gaveta da tampa da entrada de inspeção substituída incorretamente	A substituição resulta em montagem deficiente ou gaveta danificada. Isso significa que o vapor escapa para a atmosfera, aumentando significativamente o risco de incêndio. A montagem de uma nova gaveta leva uma hora
	3	Sistema de manuseio de vapor com vazamento	Os sistemas de manuseio de vapor são analisados separadamente
3	A	Falha em começar a encher a 21.000 litros	O alarme de nível baixo soa, quando o nível cai para 20.500 litros, ponto em que o tanque contém benzeno suficiente para processar mais uma mistura. A bomba de abastecimento pode ser ligada manualmente. O diagnóstico e o reparo de uma falha neste sistema levam até seis horas
	2	Válvula de entrada V1 emperrada na posição fechada	O alarme de nível baixo soa, quando o nível cai para 20.500 litros, embora seja provável que alarmes de nível alto soassem no sistema de recuperação de solvente muito antes disso. A depuração do duto de entrada e a substituição desta válvula levam cerca de 4 horas. (Na prática, esta válvula só é fechada quando tem que ser feita manutenção no tanque.)
	3	Interruptor final de nível alto falha na posição aberta	O alarme final de nível alto soa e a instalação de recuperação de solvente é fechada, portanto, nenhuma quantidade de benzeno é abastecida ao tanque e o nível cai. Os indicadores locais e remotos mostram o nível do tanque abaixo do nível alto final. O diagnóstico e a retífica levam 3 horas
	4	Instalação de recuperação de solvente falha	A instalação de recuperação de solvente é analisada separadamente
4	A	Falha em desligar a bomba de	O benzeno sai mais rapidamente do que entra, fazendo o nível cair. Veja função 2 acima
	1	Sistema de nível ultrassônico falha em	O interruptor final de nível alto fecha a instalação de recuperação e faz soar um alarme na

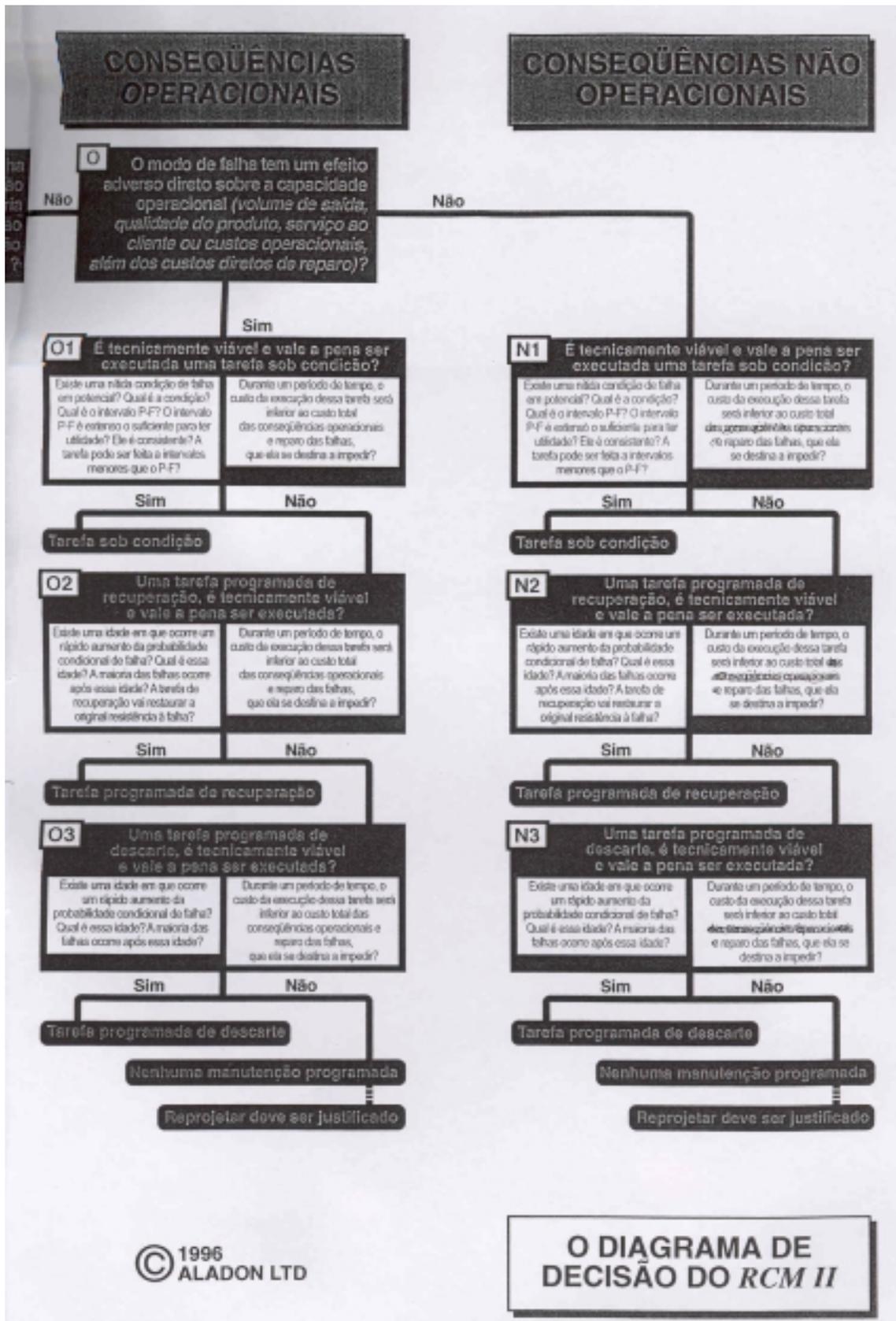
INFORMAÇÕES RCM II P		SISTEMA de Armazenamento de Benzeno		SC-300P		Revisado por		Data	
COMPONENTE		Ref		Edição 2					
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)			
5	quando o nível de benzeno atinge 39.000 litros	A	Incapaz de fazer soar o alarme, se o nível do tanque cair para 20.500 litros	1	fechar a bomba de abastecimento	sala de controle. Neste ponto, há benzeno suficiente no tanque para abastecer duas misturas. O diagnóstico e o reparo de uma falha no sistema ultrassônico levam seis horas			
6	Ser capaz de ligar a bomba de alimentação e a de abastecimento e fazer soar um alarme na sala de controle, se o nível do tanque cair para menos de 2.000 litros	A	Incapaz de fechar a bomba de alimentação e a de abastecimento, se o nível do tanque cair para menos de 2.000 litros	1	Circuito do alarme de nível baixo falha	Os operadores não são avisados de falhas que causam níveis baixo do tanque, portanto, o nível do tanque continua a cair até 2.000 litros, quando o interruptor final de nível baixo fecha a bomba de alimentação e a instalação de recuperação de solvente. O diagnóstico e o reparo de uma falha no circuito do alarme de nível baixo levam seis horas			
7	Ser capaz de fechar a instalação de recuperação de solvente e fazer soar um alarme, se o nível do tanque elevar-se acima de 42.000 litros	B	Incapaz de fazer soar o alarme, se o nível do tanque cair para menos de 2.000 litros	1	Circuito do alarme final de nível baixo falha	O interruptor só é necessário, se o interruptor de nível baixo e os circuitos dos alarmes falharem. O tanque se esvazia, portanto, a bomba de alimentação funciona a seco e será fechada pela unidade de funcionamento a seco. O processo de fluxo descendente para, devido à falta de benzeno. A substituição do interruptor leva oito horas, porque o tanque tem que ser drenado e depositado primeiramente. O reparo de outros partes do circuito pode levar de uma a duas horas			
8	Fechando a bomba, se o fluxo de benzeno através dos rolamentos do rotor	A	Incapaz de fechar o sistema de recuperação de solvente, mas incapaz de fazer soar um alarme, se o nível do tanque elevar-se acima de 42.000 litros	1	Interruptor final de nível alto falha na posição fechada	As operações não sabem que o nível caiu para 2.000 litros ou menos e, portanto, só iniciam uma ação reparadora, quando o processo de fluxo descendente parar por falta de benzeno. Isso pode causar até quatro horas adicionais de paralisação. O reparo deste circuito leva de uma a oito horas, dependendo de onde a falha ocorre			
9	Fechando a bomba, se a temperatura dos rolamentos do rotor elevar-se acima de 70°C	B	Capaz de fechar o sistema de recuperação de solvente, mas incapaz de fazer soar um alarme, se o nível do tanque elevar-se acima de 42.000 litros	1	Circuito do alarme final de nível alto falha	Este interruptor só é necessário, se o interruptor de nível alto falhar. O sistema de recuperação de solvente continua a abastecer benzeno. O tanque, portanto, se enche completamente, provocando um derramamento através do respiradouro no sistema de balanceamento de vapor. Um interruptor flutuante no sistema de balanceamento de vapor (analisado separadamente) detecta o benzeno líquido e fecha a instalação de recuperação de solvente. O tempo de paralisação para a substituição do interruptor final de nível alto é de 2 horas			
10	Mantendo a pressão no tanque entre -10	A	Incapaz de fechar a bomba, se o fluxo de benzeno através dos rolamentos do rotor	1	Unidade de proteção contra inundação a seco falha	Este circuito do alarme só é necessário, se o interruptor de nível alto falhar. Se o circuito do alarme falha, mas o interruptor final de nível alto funciona, a instalação de recuperação de solvente é fechada, mas o motivo não é imediatamente evidente. Isso significa que o diagnóstico e o reparo da falha do interruptor de nível alto poderão levar cinco horas, em vez de três. O reparo do circuito do alarme final de nível alto leva três horas			
		A	Incapaz de fechar a bomba, se a temperatura dos rolamentos do rotor elevar-se acima de 70°C	1	Unidade de proteção contra alta temperatura falha	Se o fluxo de benzeno parar e a proteção contra inundação a seco não funcionar, a bomba começa a superaquecer e a proteção contra alta temperatura desliga a bomba, antes que ela fique perigosamente aquecida. Porém, é provável que os rolamentos fiquem danificados, antes que a unidade de alta temperatura tenha a oportunidade de fechar a bomba a seco. Se o reparo da unidade de funcionamento a seco leva cerca de três horas			
		A	A pressão ultrapassa 12 mBar	1	Válvula de alívio de pressão, no	A unidade de alta temperatura é necessária, para que o fluxo de benzeno não descolore o ponto de ar aquecido, até entrar em ebulição, enquanto passa pelos rolamentos. Neste caso, o benzeno evapora e a unidade de funcionamento a seco fecha o sistema. Se, nessas circunstâncias, a unidade de funcionamento a seco também falhar, os rolamentos do propulsor engraxado e a sobrecarga do motor desliga o motor. O reparo da unidade de temperatura leva quatro horas			
						Em um dia quente, o sistema poderia tomar-se superpressurizado, fazendo com que um			

ITEM		Sistema de Armazenamento de Benzeno		Realizado por		Data		Fonte	
COMONENTE		Nº RCM/04-P		Revisado por		Data		de	
FUNÇÃO		Falha Funcional		MODO DE FALHA (Causa de falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)			
mBar e 12 mBar				sistema de recuperação de vapor, falha na posição fechada					
10	Manter a pressão no tanque entre -10 mBar e 12 mBar (continuação)	B	A pressão cai para menos de -10 mBar	1	Válvula de controle da pressão, no sistema de recuperação de vapor, falha na posição fechada	<p> ponto fraco pudesse ser trocado; liberando benzeno ou seu vapor no ambiente (Os sistemas de manuseio de vapor são analisados separadamente)</p> <p> Começa a se formar véu no tanque, quando a bomba de alimentação é ativada, fazendo o fluxo diminuir e, finalmente, parar por completo. A bomba começa a apresentar cavitação e a unidade de funcionamento a seco e fecha. O tanque por si pode suportar as pressões negativas que seriam geradas, se não acontecesse. (Os sistemas de manuseio de vapor são analisados separadamente)</p> <p> O tubo normal de saída pode ser usado para remover todo o benzeno, exceto os 200 litros finais, (através da bomba ou, se a bomba falhar, através do sifão). A drenagem é necessária para a remoção dos últimos 200 litros e isso só precisa ser feito para fins de manutenção do tanque. Se a válvula de drenagem falhar na posição fechada, o resíduo tem que ser bombeado para fora através da entrada de inspeção, e o tanque tem que ser depurado. Todo esse processo leva até seis horas</p> <p> O sistema poderia continuar a bombear benzeno para o centro do incêndio, tornando a situação muito pior. O diagnóstico e a refiltração de uma falha neste circuito levam 3 horas</p>			
11	Permitir que o tanque seja drenado	A	O tanque não pode ser drenado completamente	1	Grava que reveste o eixo da válvula se gastou, permitindo que o eixo engripasse devido à corrosão				
12	Permitir que os bombitos fechem a bomba remotamente, em caso de incêndio	A	Incapaz de fechar a bomba remotamente, em caso de incêndio	1	Circuito de controle dos bombitos falha				
13	Impedir que as chamas de um incêndio externo se voltem para dentro do tanque	A	As chamas se voltam para dentro do tanque	1	Corta-chamas ausente ou furado				
14	Impedir a formação de eletricidade estática no tanque	A	Incapaz de impedir a formação de eletricidade estática	1	Fita de aterramento partida				
15	Indicar que o tanque contém líquido inflamável e venenoso	A	Não indica que o tanque contém líquido inflamável e venenoso	1	Sinal de aviso deteriorado				
16	Exibir, no local e na sala de controle, o nível de benzeno no tanque dentro de 2% do conteúdo real	A	Incapaz de exibir na sala de controle o nível de benzeno	1	Sistema ultrassônico de indicação de nível falha				
		B	Incapaz de exibir no local o nível de benzeno	1	Calibrador local falha				
		C	A leitura de nível mostrada varia em	1	Calibrador impresso				



ANEXO 6





ANEXO 7

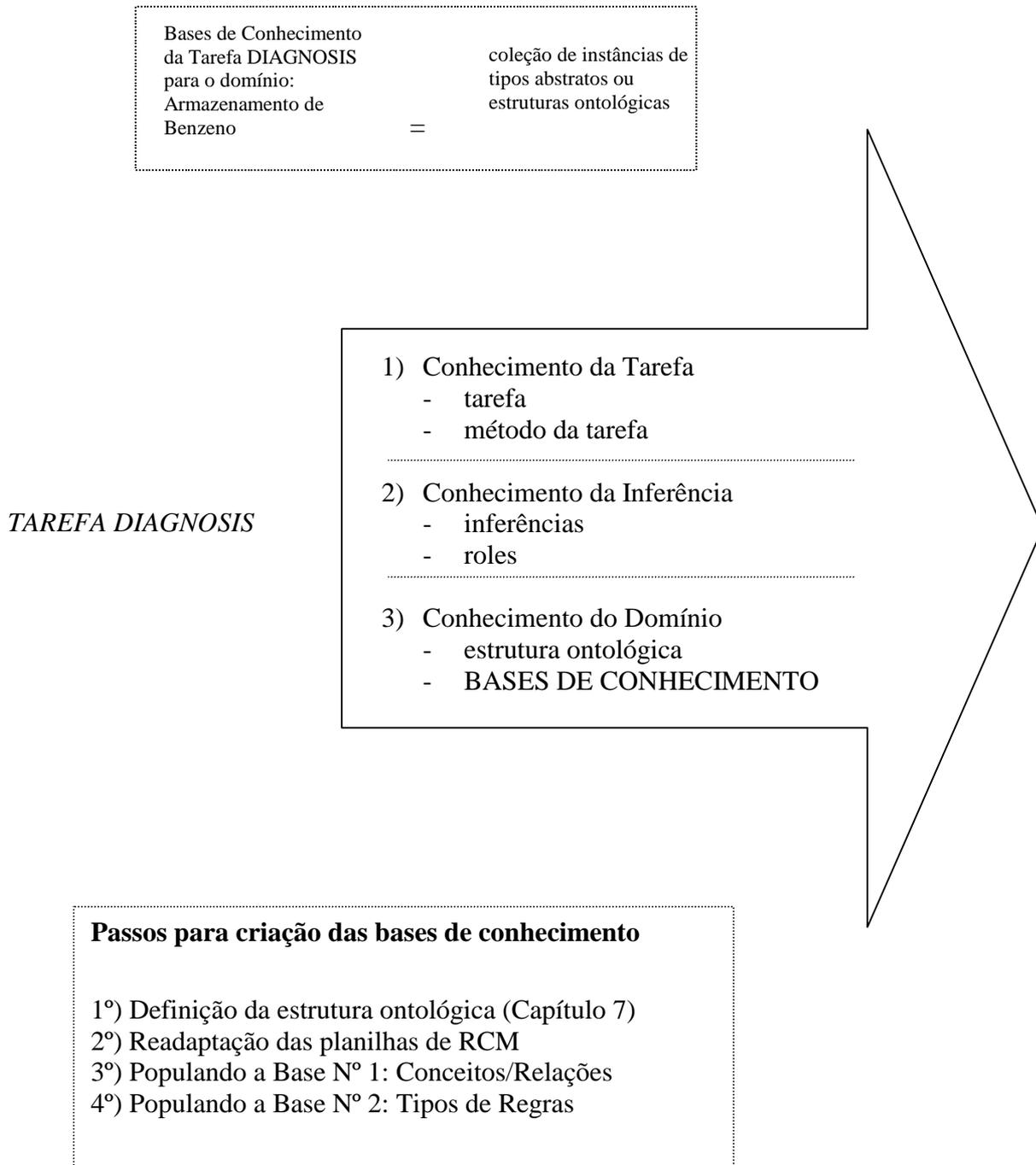
ITEM		Sistema de Armazenamento de Benzeno		Nº RCM 04 P		Realizado por		Data		Folha															
COMPLEMENTO				Ref. Edição 2		Realizado por		Data		de															
PLANILHA DE DECISÃO RCM IIP		1998 ALKORON LTD		Tarefas Proposta				Frequência Inicial		Pode ser feita por															
Referência da Informação	Avaliação das Consequências	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20
F	FF	FM	H	S	E	O																			
1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	A	2	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	A	3	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	A	4	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	A	5	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	A	6	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	A	7	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	A	8	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	A	9	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	A	10	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	A	11	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	A	12	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	B	1	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	B	2	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1	B	3	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	A	1	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	A	2	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	A	3	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	A	4	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	A	5	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	A	6	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	A	7	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	B	1	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	B	2	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	B	3	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
3	A	1	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
3	A	2	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
3	A	3	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
3	A	4	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
3	A	5	Y	N	N	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

PLANILHA DE DECISÃO RCM IIP



ANEXO 8

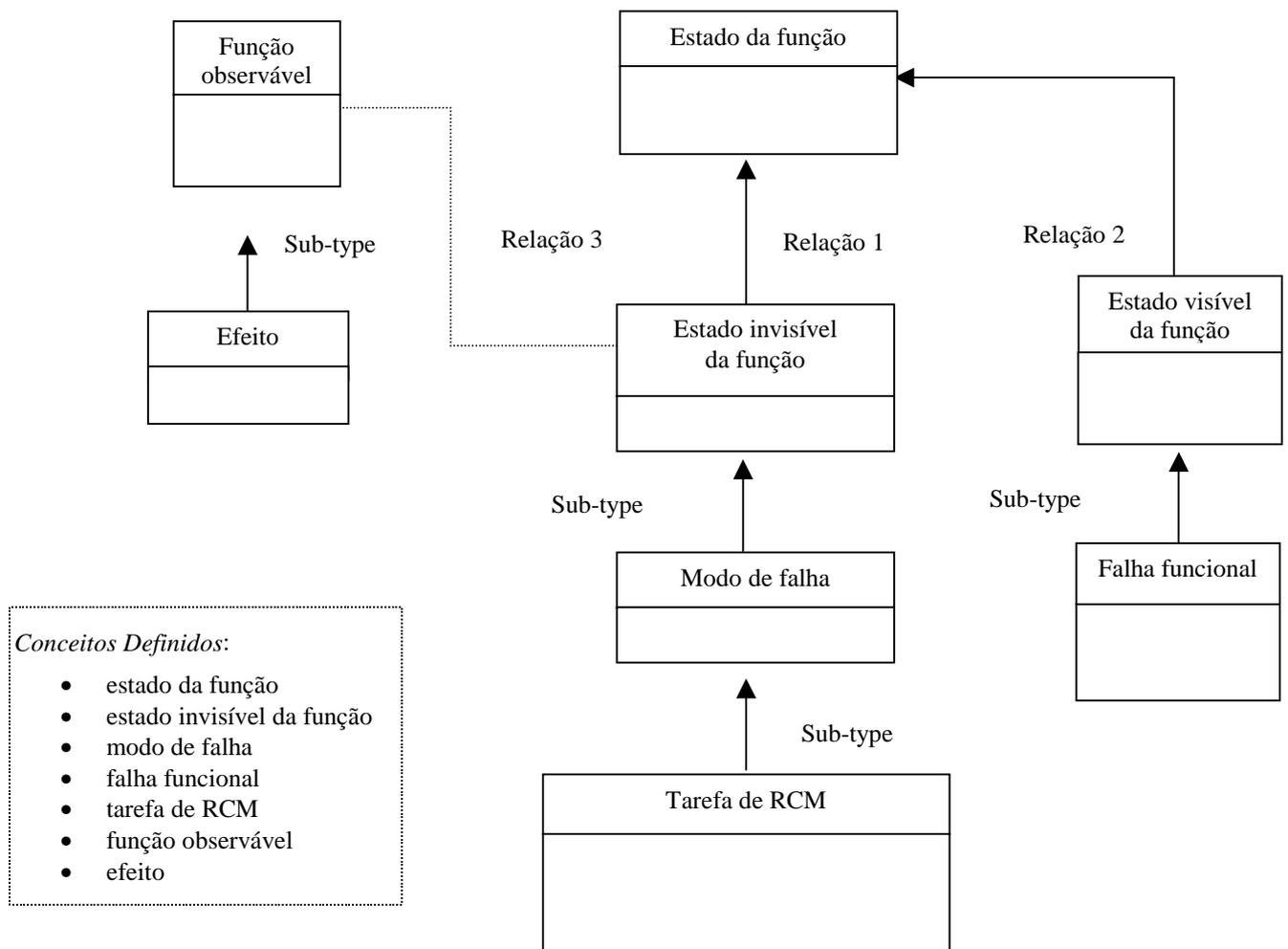
Bases de Conhecimento da Tarefa Diagnosis



ANEXO 8 (continuação)

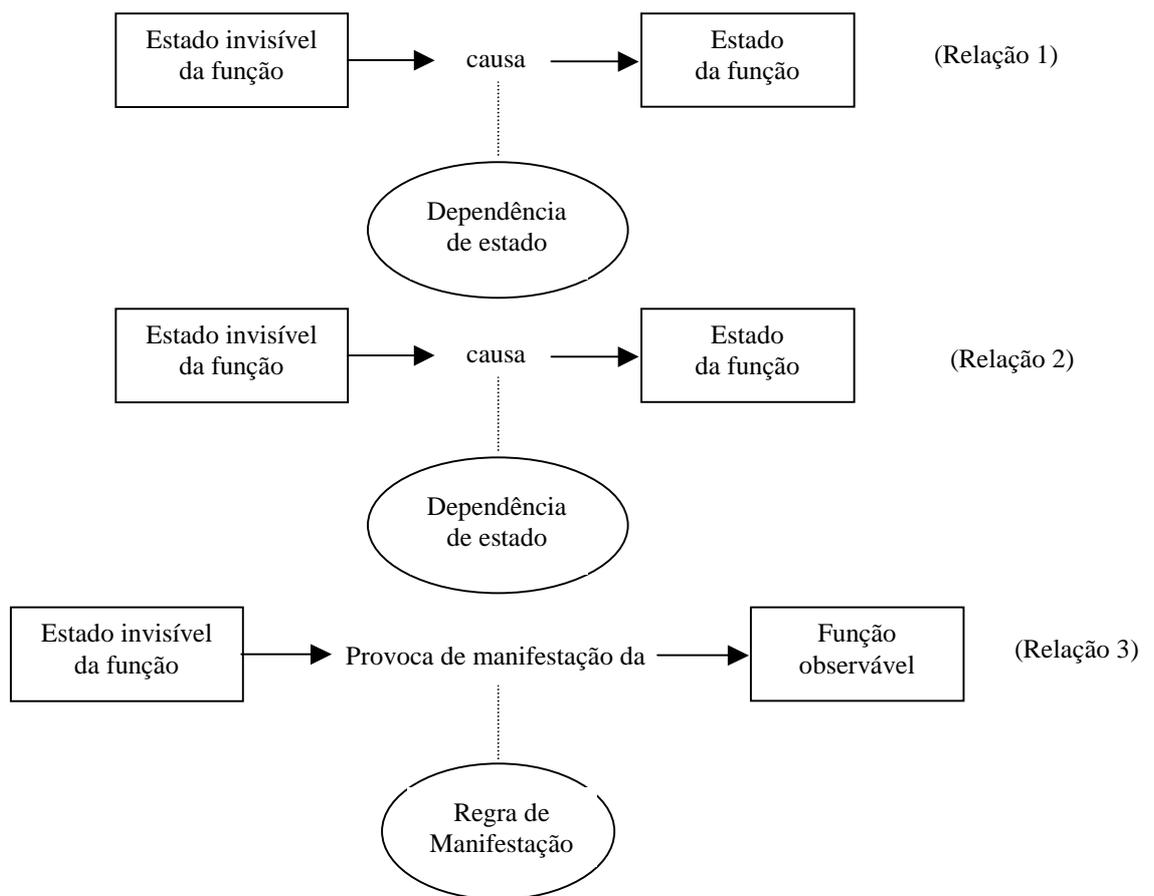
1º) Definição de Estrutura Ontológica

a) Conceitos e Relações



ANEXO 8 (continuação)

1º) Definição de Estrutura Ontológica

b) Regras (rule-type)

ANEXO 8 (continuação)

2º) Readaptação das planilhas de RCM para atender a estrutura antológica

Obs.: Neste anexo serão apresentadas somente as readaptações da função Nº1, em virtude das demais serem apenas um processo repetitivo

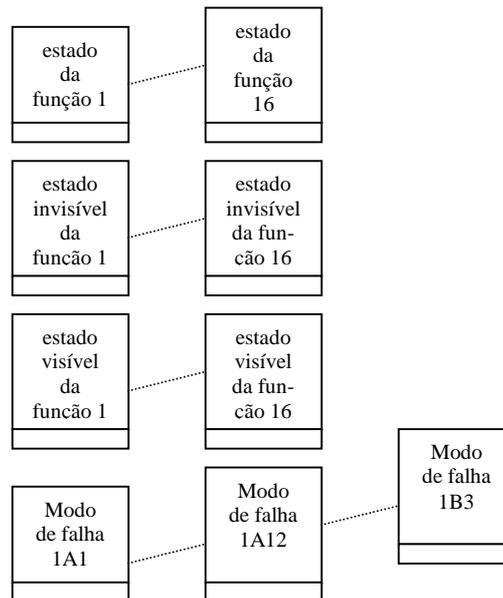
<i>FUNÇÃO</i>	<i>FALHA FUNCIONAL</i>	<i>MODO DE FALHA</i>	<i>EFEITO</i>	<i>TAREFA DE RCM</i>
1. Fornecer benzeno ao processo a uma taxa mínima de 300l/min.	A falha em fornecer qualquer taxa de benzeno	1. Propulsor bloqueado por objeto estranho (filtro de bomba)	1A1. O motor bomba pára por sobrecarga e o indicador de “sobrecarga do motor” acende na sala de controle	1A1. Nenhuma manutenção programada
		2. Rolamentos do eixo de transmissão engripam pelo uso e desgaste. (bomba de alimentação)	1A2. O motor da bomba pára por sobrecarga, o indicador de “sobrecarga do motor” acende na sala de controle e soam outros alarmes.	1A2. tarefa sob condição: verificar ruídos audíveis nos rolamentos de eixo de transmissão. - frequência: semanal - executado pelo: operador
		3. A bomba é desligada devido a sinal espúrio proveniente do mecanismo de parada	1A3. Atuação do disjuntor de sobrecarga, ou mecanismo de funcionamento a seco ou o interruptor de alta temperatura	1A3. Nenhuma manutenção programada
		4. Grandes partículas no benzeno fazem os rolamentos do propulsor engriparem.	1A4. Leitura de calibrador dP é diferente de zero.	1A4. Nenhuma manutenção programada
		5. Rolamento do propulsor da bomba se desgastou	1A5. A bomba desliga sob condição de sobrecarga do motor acende na sala de controle e outras sinalizações	1A5. Tarefa sob condição usar análise de vibração para monitorar a condição dos rolamentos do rotor. - frequência: semestral - executado pelo: técnico
		6. Válvula V2 fechada	1A6. nenhuma manutenção programada	1A6. Nenhuma manutenção programada
		7. Válvula V3 fechada	1A7. A bomba superaquece e a proteção contra alta temperatura a desativa um ou dois indicadores acendem na sala de controle	1A7. Nenhuma manutenção programada.
		8. Válvula de pé falha na posição aberta	1A8. Dependendo da quantidade de benzeno no restante da linha de liberação, causa problema de ativação da bomba, sendo desligada pela proteção de funcionamento à seco	1A8. Nenhuma manutenção programada.

ANEXO 8 (continuação)

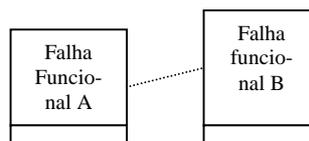
**3º) Populando a Base Nº1: Conceitos/Relações
Funções do caso SQL/ALADON :**

Função Nº 01	Fornecer benzeno ao processo a uma taxa mínima de 300 litros/minuto
Função Nº 02	Conter o benzeno e o vapor do benzeno
Função Nº 03	Começar a encher o tanque, quando o nível de benzeno atinge 39.000 litros
Função Nº 04	Desligar a bomba de abastecimento, quando o nível de benzeno atinge 39.000 litros
Função Nº 05	Ser capaz de fazer soar um alarme, se o nível de benzeno do tanque cair de 20.5000 litros
Função Nº 06	Ser capaz de desligar a bomba de alimentação e de abastecimento e fazer soar um alarme na sala de controle, se o nível do tanque cair para menos de 2000 litros.
Função Nº 07	Ser capaz de desligar a instalação de recuperação de solvente e fazer soar um alarme, se o nível do tanque se elevar acima de 42.000 litros
Função Nº 08	Desligar a bomba se o fluxo do benzeno através dos rolamentos se elevar acima de 70° C.
Função Nº 09	Desligar a bomba, se o fluxo de benzeno para através dos rolamentos do propulsor
Função Nº 10	Manter a pressão no tanque entre -10mBar e 12mBar.
Função Nº 11	Permitir que o tanque seja drenado
Função Nº 12	Permitir que os bombeiros desliguem a bomba remotamente em caso de incêndio
Função Nº 13	Impedir que as chamas de um incêndio externo se voltem para dentro do tanque
Função Nº 14	Impedir a formação de eletricidade estática no tanque
Função Nº 15	Indicar que o tanque contém líquido inflamável e venenoso
Função Nº 16	Exibir no local e na sala de controle, o nível de benzeno no tanque dentro de 2% do conteúdo real

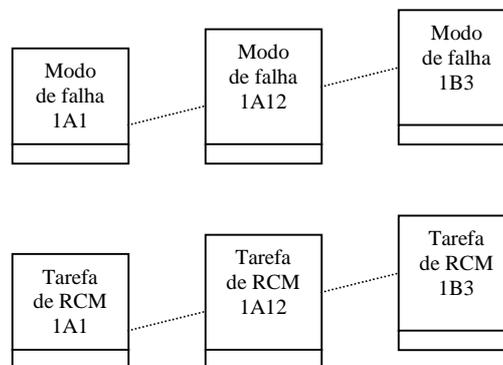
ANEXO 8 (continuação)

(3º) Populando a Base Nº1: Conceitos/Relações
Conceitos do domínio

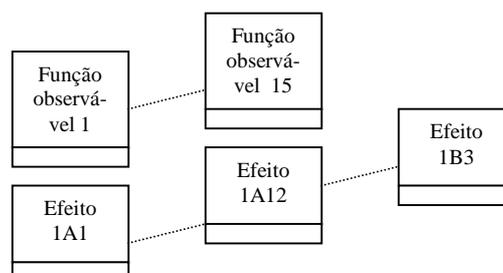
Obs1: no esquema somente os modos de falha da função 1



Obs2: no esquema somente as falhas funcionais de função 1



Obs3: no esquema somente os modos de falha e tarefas de RCM da função 1.



Obs4: no esquema somente os efeitos da função observável Nº 1

ANEXO 8 (continuação)

3º) Populando a Base N°1: Conceitos/Relações

Observação: serão apresentadas neste anexo, somente as instâncias relativas aos conceitos inerentes à função N° 1. A construção das instâncias relativas às funções N° 2 à N° 16, é um processo repetitivo e idêntico ao da função N° 1.

```

KNOWLEDGE-BASE Diagnosis
USE: armazenamento de benzeno

INSTANCE estado da função 1;
  INSTANCE-OF: estado da função;
  ATTRIBUTES:
    status: fora da operação;
    observable: false;
END INSTANCE;

INSTANCE estado invisível da função 1;
  INSTANCE-OF: estado invisível da função;
  SUPER-TYPE-OF: modo de falha 1A1,...
    Modo de falha 1A12,...modo de falha 1B3;
  VIEW POINT:
    Maintenance: tarefa de RCM1A1,...tarefa de RCM1B3;
  ATTRIBUTES:
    observação: falso;
END INSTANCE estado invisível da função 1

INSTANCE estado visível da função 1;
  INSTANCE-OF: estado visível da função;
  SUPER-TYPE-OF: falha funcional A, falha funcional B;
  ATTRIBUTES:
    observação: verdadeiro;
END INSTANCE estado visível da função 1

INSTANCE modo de falha 1A1;
  INSTANCE-OF: modo de falha;
  SUB-TYPE-OF: estado invisível da função 1
  ATTRIBUTES:
    status: ativo;
END INSTANCE modo de falha 1A1;

INSTANCE modo de falha 1A2;
  INSTANCE-OF: modo de falha;
  SUB-TYPE-OF: estado invisível da função 1;
  ATTRIBUTES:
    status: ativo;
END INSTANCE modo de falha 1A2

(simplificado)          modo de falha 1A3
                        até
                        modo de falha 1B3

INSTANCE falha funcional A;
  INSTANCE OF: falha funcional;
  SUB-TYPE-OF: estado visível da função 1;
  ATTRIBUTES:
    status: ativa;
END INSTANCE falha funcional A;

INSTANCE falha funcional B;
  INSTANCE OF: falha funcional;
  SUB-TYPE-OF: estado visível da função 1;
  ATTRIBUTES:
    status: ativa;
END INSTANCE falha funcional B;

INSTANCE tarefa de RCM 1A1;
  INSTANCE-OF: tarefa de RCM
  SUB-TYPE-OF: modo de falha 1A1
  ATTRIBUTES:
    tipo: nenhuma manutenção programada
END CONCEPT tarefa de RCM 1A1

INSTANCE tarefa de RCM 1A2
  INSTANCE-OF: tarefa de RCM
  SUB-TYPE-OF: modo de falha 1A 2
  ATTRIBUTES:
    Tipo: tarefa sob condição
      (verificar ruídos audíveis nos rolamentos do eixo
      de transmissão)
    periodicidade: semanal
    executado por: operador

(simplificado)          tarefa de RCM 1A3
                        até
                        tarefa de RCM 1B3

INSTANCE função observável 1;
  INSTANCE-OF: função observável;
  SUPER-TYPE-OF: efeito 1 A 1, ...
    efeito 1 A 2, efeito 1B 3;
  ATTRIBUTES:
    valor: ativa;
END INSTANCE função observável 1;

INSTANCE efeito 1 A 1
  INSTANCE-OF: efeito
  SUB-TYPE-OF: função observável 1
  ATTRIBUTES:
    valor: ativo
END INSTANCE efeito 1 A 1

INSTANCE efeito 1 A 2
  INSTANCE-OF: função observável 1
  ATTRIBUTES:
    valor: ativo
END INSTANCE efeito 1 A 2

(simplificado)          efeito 1A3
                        até
                        efeito 1B3

```

ANEXO 8 (continuação)

4º) Populando a Base Nº2: Tipos de Regras (Rule-type)

KNOWLEDGE-BASE diagnosis;

USES:

state-dependency FROM domínio armazenamento de benzeno;
manifestation-rule FROM domínio armazenamento de benzeno.;

EXPRESSIONS:

/ state dependencies */*

modo de falha 1A1. ativo CAUSES estado da função 1. falhado

modo de falha 1A2. ativo CAUSES estado da função 1. falhado

[...]

modo de falha 1A12. ativo CAUSES estado da função 1. falhado

[...]

modo de falha 1B3. ativo CAUSES estado da função 1. falhado

falha funcional A. ativa CAUSES estado da função 1. falhado

falha funcional 1A1 . ativa CAUSES estado da função 1. falhado

/ manifestation rules */*

modo de falha 1A1. ativo HAS-MANIFESTATION efeito 1A1. ativo;

modo de falha 1A2. ativo HAS-MANIFESTATION efeito 1A2. ativo;

[...]

modo de falha 1A12. ativo HAS-MANIFESTATION efeito 1A12. ativo;

[...]

modo de falha 1B3. ativo HAS-MANIFESTATION efeito 1B3. ativo;