

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**RACIOCÍNIO BASEADO EM CASO:  
UMA APLICAÇÃO EM MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**

**João Batista Fagundes Cunha**

**Porto Alegre, 2002**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**RACIOCÍNIO BASEADO EM CASO:  
UMA APLICAÇÃO EM MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**

**João Batista Fagundes Cunha**

**Orientador: Professor Dr. Leonardo Rocha de Oliveira**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Cláudio Valter**

**Prof. Dr. Ricardo Melo Bastos**

**Prof. Dr. Marcelo Perin**

**Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia  
como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia –  
modalidade Profissionalizante – Ênfase Gerência da Produção**

**Porto Alegre, 2002**

**Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**

**Prof. Dr. Leonardo Rocha de Oliveira**

Orientador  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof<sup>ª</sup>. Helena Beatriz Bettella Cybis**

Coordenadora  
Mestrado Profissionalizante em Engenharia  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Dr. Cláudio Valter**

**Prof. Dr. Ricardo Melo Bastos**

**Prof. Dr. Marcelo Perin**

## **AGRADECIMENTOS**

Eu gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Dr. Leonardo Rocha de Oliveira, pelo seu direcionamento especializado, amizade, e por incentivar-me a concluir esta dissertação. Seus conhecimentos em “case-based reasoning” (CBR) ou raciocínio baseado em caso, me guiaram nos momentos de maiores dúvidas, desempenhando papel chave nesta dissertação.

Minha gratidão se estende ao mestrando em sistema de informação, Alexandre Kappel, pelo seu interesse em auxiliar e conhecimentos no desenvolvimento do protótipo de CBR.

Agradeço à Hartz Mountain Ltda, através do seu diretor de operações, sr. Robert Sulikowski pelo apoio para realização deste mestrado profissionalizante. Estendo agradecimento especial à Alexandre Armani (supervisor de manutenção da Hartz Mountain) e seus colaboradores por participarem ativamente no desenvolvimento e testes do protótipo.

Meu especial agradecimento à minha esposa Cristiane, pelo seu amor, apoio, compreensão, suporte familiar e encorajamento para seguir até o final, tanto do curso de mestrado quanto desta dissertação.

Finalmente, gostaria de agradecer ao Governo Brasileiro pela iniciativa de criação do curso de mestrado profissional e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, através da Escola de Engenharia, Mestrado Profissional em Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção pela oportunidade de desenvolvimento profissional.

## RESUMO

O ambiente econômico atual tem imposto desafios em atividades como atendimento de pedidos de produção, com lotes e prazos de entrega cada vez menores e garantia de inexistência de erros de qualidade e entrega. Portanto, se faz imperativo um tratamento diferenciado da manutenção dos equipamentos, exigindo o uso de tecnologias que permitam, através da minimização dos tempos envolvidos em reparos, avanços contínuos na direção de “zero-quebra” e “zero-defeito”.

Embora a busca sempre deva ser de eliminar paradas por quebra, atacando suas causas na raiz, através de ações de melhoramento contínuo das condições das máquinas e instalações, estas ainda persistem. Seja por falta de recursos para a implantação das ações técnicas necessárias ou pela inviabilidade econômica desta implantação, as intervenções corretivas, que em quase sua totalidade estão estruturadas com base na experiência individual dos profissionais da área, continuam sendo requeridas. A empresa fica então na dependência da correta avaliação de profissionais especialistas, os quais são também suscetíveis a erros de diagnóstico, o que coloca em risco a continuidade das operações fabris.

Este trabalho revisa o conceito de TPM (Total Productive Management ou Gestão Produtiva Total) aplicado a organizações, processos produtivos e resultados potenciais tangíveis e intangíveis de sua aplicação. A manutenção planejada, um dos pilares do TPM onde são focalizadas as intervenções por quebra-máquina, descreve as divisões de atividades em uma intervenção de conserto. Neste ponto são localizadas as etapas onde o CBR (Case-Based Reasoning) ou Raciocínio Baseado em Casos, pode ser utilizado a fim de minimizar o tempo total da intervenção.

Um protótipo de CBR é criado para auxiliar especialistas de manutenção durante o processo de diagnóstico de causas de quebras de máquinas. Este protótipo utiliza CBR como método para armazenamento de casos progressos de quebras de máquina. A base de casos do CBR fornece ferramentas para recuperação e reutilização destas experiências quando da recorrência da quebra de máquina, auxiliando profissionais da manutenção a executar seu trabalho. O pacote de ferramentas CBR Content Navigator, Versão 3.2 desenvolvido pela Inference Corporation™ foi utilizado como: (i) repositório para modelagem e armazenamento do banco de casos, (ii) mecanismo de recuperação (ou busca) de casos na base do sistema e, (iii) ferramentas para apresentar a solução dos problemas de quebra de máquina

## **ABSTRACT**

The current economic scenario has been imposing challenges to companies involving the delivery of production orders in a shorter time, smaller amount and zero quality defects and late delivery. It requires special management of machinery maintenance, demanding use of technologies allowing time reduction for repairs and continuous progress in direction of "zero-breakdown" and "zero-defect".

Although the objective should always be to eliminate stoppage caused by machinery breakdowns, dealing with root-causes through continuous improvement actions in the facility conditions, stoppage still persists. Because of lack of resources to perform the necessary improvements or the poor economic pay-back, the emergency or corrective repairs that are structured based on professional skills of some maintenance experts, their actions are continually requested. The company depends on the correct evaluation of maintenance experts', who are also subject to mistakes performing their tasks. This can put at risk the continuity of the operations, causing damage to the company market performance.

This research work revises the concept of TPM (Total Productive Management) applied to production processes, evaluating tangible and intangible potential results of its application. The planned maintenance is approached as one of the pillars of TPM, in which the machinery breakdown repair is focused. A detailed description of activities involved in a repair process using a Case-Based Reasoning (CBR) system tool is carried out to help reducing the total stoppage time by easing the fault diagnosis and repair activities.

A CBR prototype is developed to help maintenance experts to carry out fixing machinery breakdowns. This prototype uses CBR as a method for storing past breakdown experiences and provide a retrieving mechanism to allow reusing these experiences. The software used for the system development was the CBR Content Navigator, Version 3.2 supplied by Inference Corporation™. It allowed (i) building a model for case storage, (ii) providing a mechanism for case retrieval and, (iii) for displaying the repair activities.

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.2.2 - Forma organizativa do sistema TPM - adaptada de JIPM, 1995.....	24
Fig. 2.2.3 - Eficiência Global dos Equipamentos (OEE) - adaptada de JIPM, 1995.....	25
Fig. 2.3 - Políticas da manutenção - adaptada de JIPM, 1995 .....	27
Fig. 2.3.1 - Três diferentes medidas de Disponibilidade - adaptada de JIPM, 1995.....	28
Fig. 2.3.2 - Etapas do tempo ativo de manutenção - adaptada de JIPM, 1995 .....	29
Fig. 3.5.a - O ciclo CBR - adaptada de Oliveira, L. R., 1998. ....	37
Fig. 3.5.b - Principais componentes do CBR - adaptada de Oliveira, L. R., 1998. ....	38
Fig. 4.2 - Exemplo de caso do CBR-Express <sup>TM</sup> .....	51
Fig. 5.2.a - Grampeadora e seus subconjuntos.....	76
Fig. 5.2.b - Embalagem e detalhe da área grampeada.....	77
Fig. 5.3.a - Código do problema preenchido na OS.....	78
Fig. 5.5.1.a - Inserção dos grupos no CBR Express Professional Author <sup>TM</sup> I .....	84
Fig. 5.5.1.b - Inserção dos grupos no CBR Express Professional Author <sup>TM</sup> II.....	85
Fig. 5.5.1.c - Casos relacionados ao grupo <i>Grampo não Conforma</i> .....	85
Fig. 5.5.1.d - Perguntas de confirmação e a ação relacionadas a um caso.....	86
Fig. 5.5.2.a - Tela do CasePoint Professional <sup>TM</sup> – pergunta inicial .....	87
Fig. 5.5.2.b - Telas de perguntas de confirmação. ....	88
Fig. 5.5.2.c - Exemplo de causa – “ <i>Afrouxamento parafuso do eletroímã</i> ” .....	89
Fig. 5.5.2.d - Exemplo de ação para a causa da figura 5.5.2.c.....	89
Fig. A1.2 - Classificação ABC das máquinas II – adaptada de JIPM, 1995.....	98
Fig. A2.1.a - Digitação da descrição .....	101
Fig. A2.1.b - Área de perguntas e repostas .....	101
Fig. A2.1.c - Resultados da procura.....	102
Fig. A2.1.d - Uso de sinônimos .....	102
Fig. A2.1.e - Lista de opções de casos .....	105
Fig. A2.1.f - Perguntas de confirmação .....	106
Fig. A2.1.g - Perguntas de características - lista de palavras-chave .....	107
Fig. A2.2 - Árvore de perguntas .....	110

## **LISTA DE TABELAS**

Tab. 5.3.b – Exemplos de codificação. ....	78
Tab. 5.4 – Casos de quebras e intervenções de grampeadora de embalagens .....	83
Tab. A1.1 – Classificação ABC das máquinas I. ....	97



## **LISTA DE ABREVIACOES**

- CBR\_\_\_\_\_ Case-Based Reasoning (Raciocínio Baseado em Caso)
- JIPM\_\_\_\_\_ Japan Institute for Plant Maintenance (Instituto Japonês para  
Manutenção de Fábricas)
- KBS\_\_\_\_\_ Knowledge-Based System (Sistema Baseado no Conhecimento)
- MDT\_\_\_\_\_ Mean Down Time (Tempo Médio de Parada)
- MTBF\_\_\_\_ Mean Time between Failures (Tempo Médio entre Falhas)
- MTTR\_\_\_\_ Mean Time to Repair (Tempo Médio de Reparo)
- NN\_\_\_\_\_ Nearest Neighbour (Vizinho Mais Próximo)
- OEE\_\_\_\_\_ Overall Equipment Efficiency (Eficiência Geral dos Equipamentos)
- TPM \_\_\_\_\_ Total Productive Management (Gestão Produtiva Total)

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>12</b>
1.1	Visão geral	12
1.2	Conhecimentos e meios utilizados na pesquisa	13
1.3	Justificativa	14
1.4	Objetivos	15
1.5	Metodologia de pesquisa	15
1.6	Esboço desta dissertação	17
<b>2</b>	<b>TPM e CBR</b>	<b>19</b>
2.1	Introdução	19
2.2	A metodologia TPM	20
2.2.1	Principais características e resultados potenciais	21
2.2.2	Forma organizativa	22
2.2.3	Perdas do processo produtivo e eficiência global	25
2.3	Manutenção planejada e CBR	27
2.3.1	Disponibilidade em manutenção	28
2.3.2	Tempo de indisponibilidade e CBR	29
2.4	Síntese do capítulo	31
<b>3</b>	<b>CBR</b>	<b>32</b>
3.1	Introdução	32
3.2	A efetividade do raciocínio humano	33
3.3	O processo envolvido no raciocínio	33
3.4	O que é um caso	35
3.5	CBR e seu processo	36
3.6	Representação de casos	39
3.7	Recuperação de casos	40
3.8	Aplicabilidade de CBR	41
3.9	Vantagens de CBR	42
3.10	Desvantagens de CBR	45
3.11	Síntese do capítulo	46

<b>4 Ferramentas e aplicações CBR</b>	<b>47</b>
4.1 Introdução	47
4.2 Origens de CBR	48
4.3 Ferramentas CBR	50
4.4 Aplicações de CBR	59
4.4.1 General Electric	59
4.4.2 Redução de variações em uma montadora automotiva	65
4.4.3 Lockheed Missiles and Space - Clavier	67
4.4.4 British Airways -CaseLine	69
4.4.5 Análise sobre as aplicações CBR	71
4.5 Síntese do capítulo	71
<b>5 Desenvolvimento de CBR para diagnóstico de quebra</b>	<b>74</b>
5.1 Introdução	74
5.2 Grampeadora de cartelas	75
5.3 Processo atual de reparo	77
5.4 Processo utilizado para definir os casos do repositório	79
5.5 CBR Content Navigator	82
5.6 Síntese do capítulo	90
<b>6 Conclusões</b>	<b>92</b>
6.1 Introdução	92
6.2 Revisão	93
6.3 Conclusões	94
6.4 Futuros desenvolvimentos	95
<b>APÊNDICE 1 – Classificação ABC de máquinas</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICE 2 – Ferramentas CBR</b>	<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>112</b>

# 1 Introdução

## ***1.1 Visão geral***

Este capítulo fornece uma visão geral do trabalho onde são descritos os conhecimentos utilizados na pesquisa e as razões para o desenvolvimento. Também são discutidos os objetivos do trabalho, seguidos por uma descrição das atividades para o seu desenvolvimento. A seção final descreve sucintamente os conteúdos de cada capítulo.

## **1.2 Conhecimentos e meios utilizados na pesquisa**

Neste trabalho foram utilizados conhecimentos sobre “Total Productive Management” (TPM) ou Gestão Produtiva Total, provenientes da literatura e dos conhecimentos práticos do autor. É descrita sucintamente a organização geral do sistema TPM, tendo como foco o pilar de Manutenção Planejada. Para apoiar este trabalho, focalizando em seus objetivos, foram utilizados conhecimentos sobre quebras em equipamentos, disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade. A pesquisa evidenciou a necessidade de sistemática de compilação dos conhecimentos dos especialistas da manutenção, a fim de ser utilizada como suporte a decisões. Para isto foi escolhida uma ferramenta de “Case Based Reasoning” (CBR) ou Raciocínio Baseado em Caso da Inference Corporation, o CBR Content Navigator.

Para embasar esta aplicação de CBR é utilizada literatura específica e artigos que relatam sua utilização prática na área de reparos de manutenção em aspectos como: (i) manutenção corretiva, como ferramenta capaz de reduzir tempos médios de parada para reparo de máquinas e equipamentos, e (ii) como repositório de informações da empresa que podem ser utilizadas para documentar e serem reutilizadas para a solução de problemas com as instalações e também para a difusão dos conhecimentos entre os envolvidos na manutenção.

Esta dissertação foca no processo de intervenção para reparo de manutenção de um equipamento em especial, aplicando a lógica do raciocínio humano para reparo, com o auxílio de ferramenta CBR. A rapidez e facilidade de utilização, por parte do usuário final, mostram-se como os principais fatores capazes de elevar o nível de precisão dos diagnósticos e reduzir os tempos envolvidos.

Este trabalho também analisa, com base em publicações, sistemas CBR aplicados na área de manutenção, suas principais características, vantagens e desvantagens de uso. Exemplos de utilização prática da metodologia são abordados, demonstrando a contribuição de CBR em diferentes tipos de processos e empresas.

### **1.3 Justificativa**

O ambiente econômico atual tem imposto às empresas desafios, entre os quais o atendimento de pedidos com prazos de entrega cada vez menores, com lotes pequenos e proibitiva existência de incorreções nas entregas (“mix” de produtos no pedido).

Portanto, se faz imperativo um tratamento diferenciado da manutenção dos equipamentos, exigindo o uso de tecnologias que permitam, através da minimização dos tempos envolvidos em reparos, avanços contínuos na direção de “zero-quebra” e “zero-defeito”.

Embora a busca sempre deva ser de eliminar paradas por quebra, atacando suas causas na raiz através de ações de melhoramento contínuo das condições das máquinas e instalações, estas ainda persistem. Seja pela falta de recursos suficientes para a implantação das ações técnicas necessárias ou pela inviabilidade econômica desta implantação, as intervenções corretivas, que em quase sua totalidade estão estruturadas com base na experiência individual dos profissionais da área, continuam sendo requeridas.

A empresa fica na dependência da correta avaliação de profissionais especialistas, os quais são também suscetíveis a erros de diagnóstico, o que coloca em risco a continuidade das operações fabris.

A utilização de CBR no diagnóstico de causas de paradas mostra-se como uma tecnologia a ser utilizada para minimização das quebras e suporte a manutenções corretivas e preventivas.

Esta dissertação discute a utilização de registro digital de casos, ou ocorrências de manutenções na companhia, permitindo sua reutilização pelos envolvidos nas atividades de correção, sejam profissionais com experiência na solução de problemas ou em início de processo formativo, com redução no tempo de diagnóstico e custos de treinamento.

CBR se apresenta como tecnologia de informação capaz de auxiliar na minimização dos tempos de diagnóstico, otimizando sua precisão e gerando explicações a partir da descrição digital dos sintomas detectados (Kolodner 1993).

ICARUS (VARMA, 1999), abordado em mais detalhes no capítulo 4, é um exemplo de sistema que utiliza a metodologia de CBR para o diagnóstico de problemas em locomotivas fabricadas pelo grupo General Electric, demonstrando uma aplicação prática nas intervenções de manutenção corretiva.

A proposta deste trabalho é de que, após algumas otimizações no sistema desenvolvido como protótipo, profissionais da área de manutenção estejam munidos de ferramenta CBR e possam receber auxílio para diagnóstico das causas mais prováveis de quebra, baseado em casos progressos de falhas e reparos.

## **1.4 Objetivos**

Esta dissertação tem como objetivos avaliar a utilização de CBR como (i) instrumento para auxiliar na documentação das atividades profissionais da área de manutenção industrial e (ii) utilizar experiências pregressas para auxiliar na solução de problemas com manutenção de equipamentos.

Com a utilização da ferramenta CBR proposta neste trabalho busca-se:

- reduzir os tempos médios de parada (MDT – “Mean Down Time”) em no mínimo 50%, através da redução dos tempos de diagnóstico das causas, da maior precisão na identificação das causas, associado à indicação do procedimento padrão para a execução do reparo;
- integrar as áreas de produção e manutenção no processo de diagnóstico da falha, onde o operador participa na geração do banco de casos, bem como, durante o uso do sistema, nas fases iniciais do diagnóstico da falha;
- preservar o conhecimento da companhia, permitindo seu uso em situações presentes ou futuras, eliminando as perdas de tempo para o diagnóstico da quebra;
- minimizar os custos de treinamento dos novos manutentores em função do mecanismo de diagnóstico (CBR) ser de fácil utilização e conter em seu banco de casos as experiências históricas de ocorrências; e
- gerar informações a serem utilizadas na aquisição de máquinas e equipamentos novos similares aos existentes na empresa, livres de manutenção.

## **1.5 Metodologia de pesquisa**

Com o objetivo de orientar cientificamente a realização deste trabalho, foi utilizado o método de Pesquisa-ação. “Pesquisa-ação consiste essencialmente em acoplar pesquisa e ação em um processo no qual os atores implicados participam, junto com os pesquisadores, para chegarem interativamente a elucidar a realidade em que estão inseridos, identificando problemas coletivos, buscando e

experimentando soluções em situação real” (THIOLLENT, 1997). É um método para conhecer e intervir, vindo ao encontro dos objetivos deste trabalho.

Segundo Thiollent (1997), o método de Pesquisa-ação apresenta a seguinte seqüência de passos para o desenvolvimento de projetos, os quais estão abaixo indicando os estágios de elaboração deste trabalho.

1. **Fase de comprometimento dos participantes** – também conhecido como “efeito massa”, aborda o comprometimento das partes nas decisões e execução, apontando as vantagens e retorno dos resultados e contemplando a imparcialidade necessária na pesquisa.
2. **Fase exploratória** - partindo de uma revisão da literatura sobre TPM foi construída a lógica de inserção do CBR para a redução dos tempos de parada para manutenção. Uma revisão das aplicações disponíveis CBR e casos práticos de diagnóstico de falhas em equipamentos em empresas, tais como, General Electric e British Airways foram introduzidos no capítulo 4, com o intuito de servir como fonte de consulta para o leitor quando da tomada de decisão sobre qual aplicação é a mais adequada no seu caso. Envolveu também discussões com especialistas em manutenção e CBR, com o intuito de fixar conhecimentos sobre estes dois assuntos e sua interface e avaliar o uso da ferramenta na prática do trabalho.
3. **Fase principal** – formação do grupo de trabalho afim de realizar os estudos, definir o equipamento piloto para o trabalho prático, compilar informações históricas de falhas, administrar a problemática relacionada com a sua obtenção e classificação, bem como a analisar a possível implementação em uma ferramenta CBR.
4. **Fase ação** – esta etapa busca difundir resultados, definir objetivos alcançáveis por ações de curto prazo e implementar ações-piloto. Uma aplicação prática de CBR foi desenvolvida para auxiliar no diagnóstico de quebras de uma grampeadora de cartelas em embalagens plásticas e foi utilizada como parte deste trabalho. A fim de explorar os objetivos descritos na seção anterior, o CBR Express Professional Author e o CasePoint Professional (marcas registradas da Inference Corporation) serviram como



gerador, repositório e mecanismo de busca na base de casos. As ordens de serviço para reparo corretivo das grampeadoras e a experiência de campo dos manutentores e supervisão de manutenção foram a base da pesquisa e da definição das correlações entre causa e ação tomada para cada sintoma detectado. Por fim, a implementação do protótipo foi efetivada através: (i) da inserção dos casos na ferramenta CBR; (ii) geração das questões para a sua recuperação e; (iii) definição das ações a serem tomadas em cada situação.

5. **Fase avaliação** – visa controlar a efetividade das ações e as conseqüências no curto prazo e extrair conhecimentos e ensinamentos úteis aos demais recursos envolvidos. A verificação do protótipo ocorre neste estágio, onde os testes executados com os manutentores, supervisor de manutenção da área envolvida, autor e orientador do trabalho, no intuito de validar a utilização do protótipo.

O estabelecimento de uma sistemática de revisão periódica do grau de importância relativa de cada caso foi deixada para futuros desenvolvimentos, por razões ligadas a exigüidade de tempo. Mesmo a inserção de casos na base do sistema foi reduzida há um certo número limitado de exemplos. Este foi considerado suficiente para provar a utilidade da ferramenta na área de trabalho, sendo também deixado para o futuro a implementação de uma ferramenta para utilização no dia a dia da empresa.

## **1.6 O esboço desta dissertação**

Esta dissertação preocupa-se com duas idéias centrais: (i) a redução dos tempos de parada por quebra de máquina, ou seja o aumento dos tempos disponíveis para a produção, e (ii) a compilação do conhecimento da empresa no que tange às experiências de seus funcionários da área de manutenção para sua sobrevivência presente e futura. Estas idéias foram testadas em uma aplicação prática da ferramenta CBR para agilizar o diagnóstico de paradas por manutenção.

A seguir é descrita a seqüência de desenvolvimento do trabalho por capítulo:

**Capítulo 1:** fornece uma visão geral desta dissertação, indicando os conhecimentos utilizados, as razões e objetivos para o seu desenvolvimento e a metodologia de pesquisa seguida. Finalmente é fornecido de forma sucinta os conteúdos de cada capítulo.

**Capítulo 2:** descreve a metodologia TPM e discute a utilização do CBR na manutenção planejada como ferramenta na redução dos tempos médios de reparo (MTTR).

**Capítulo 3:** introduz o CBR como uma ferramenta para o desenvolvimento de sistemas baseados no raciocínio, ou seja, que utilizam experiências anteriores para solucionar problemas novos. É analisado o processo de raciocínio humano e sua ligação com CBR. São discutidos o mecanismo de funcionamento de CBR, sua aplicabilidade na vida real, as vantagens e desvantagens de seu uso.

**Capítulo 4:** fornece uma visão geral das ferramentas CBR disponíveis e analisa algumas aplicações práticas no diagnóstico de falhas em equipamentos e processos de empresas industriais que usam tecnologia de ponta e que têm renome internacional.

**Capítulo 5:** descreve o protótipo para a compilação dos casos e da sua implementação com a utilização das ferramentas CBR (CBR Express Professional Author e o CasePoint Professional), da Inference Corporation.

**Capítulo 6:** apresenta as conclusões derivadas do desenvolvimento deste trabalho e as instruções para desenvolvimentos futuros relacionados ao tema CBR e a manutenção planejada.

**Apêndice 1:** descreve a classificação ABC, que serve para definir o grau de importância de uma máquina ou equipamento no que diz respeito as perdas que ela pode produzir uma vez tendo falhada. Esta classificação serviu para definir que tipo de sistemática de manutenção deveria ser adotada para o equipamento do protótipo no capítulo 5.

**Apêndice 2:** apresenta uma descrição das ferramentas CBR utilizadas no protótipo do capítulo 5. São abordadas as suas características principais, bem como sua arquitetura de base de casos.

## **2 TPM e CBR**

### **2.1 Introdução**

Este capítulo aborda a sistemática de gestão denominada “Total Productive Management” (TPM) com a intenção de servir como guia para: (i) implementação na prática empresarial, e (ii) auxiliar na definição das razões para o uso de CBR na manutenção corretiva e planejada de equipamentos, cuja base teórica e aplicações práticas são abordados nos capítulos 3 e 4.

Inicialmente será revisado o conceito de TPM aplicado a organizações, processos produtivos e os resultados potenciais tangíveis e intangíveis de sua aplicação. A seguir é abordada a manutenção planejada, um dos mais importantes pilares do TPM, onde são focalizadas as intervenções por quebra-máquina. São descritas de forma detalhada as divisões de atividades em uma intervenção de conserto. Neste ponto são localizadas as etapas onde o CBR pode ser utilizado a fim de minimizar o tempo total da intervenção.

## **2.2 A metodologia TPM**

A necessidade de aplicação do TPM provém de fatores externos e internos à empresa que devem ser satisfeitos para garantir sua competitividade. Por fatores externos entende-se por exigências do mercado (qualidade intrínseca, preço e entrega de produtos e serviços). Fatores internos são requerimentos dos colaboradores da empresa (tais como motivação e segurança).

As exigências de qualidade dos produtos vêm tornando-se cada vez mais rígidas, implicando em rejeição de produtos com quaisquer tipos de defeito. Mesmo para produtos fabricados em série, é necessário que a qualidade das mercadorias seja assegurada para todos os lotes entregues.

O ambiente econômico das empresas está cada vez mais exigente, acarretando necessidade de eliminação de desperdícios. Estes devem ser eliminados ou seus efeitos minimizados, sejam desperdícios oriundos das interrupções de produção provenientes de falhas nas instalações, como desperdícios relacionados a produtos defeituosos. Tais eliminações se traduzem em reduções de custo e, conseqüentemente, em preço de venda mais competitivo.

Para vários tipos de produtos, têm sido exigidas fabricações de pequenos lotes e redução dos tempos de atravessamento para sua fabricação, de modo a atender necessidades diversificadas dos clientes. Isto se relaciona ao fator entrega de produtos e serviços acima.

Considerando fatores internos como, segurança e moral, o estabelecimento de um ambiente de trabalho mais agradável e seguro torna-se essencial para empresas que desejam atingir melhorias de produtividade e qualidade em seus produtos.

TPM oferece um sistema de gestão abrangente, onde cada um dos fatores descritos acima é abordado por um sistema organizado em 8 pilares. Os conceitos presentes em cada um destes pilares são operacionalizados por comitês multidisciplinares, comandados por um comitê central ou diretor.

O Japan Institute for Plant Maintenance (JIPM) (1995) define TPM como processo de gestão produtiva total que estabelece cultura corporativa que busca a

máxima eficiência do sistema de produção industrial durante todo o ciclo de vida da empresa.

### **2.2.1 Principais características e resultados potenciais**

Segundo o JIPM (1995), TPM apresenta características bem definidas e consoantes com sua definição:

- busca a máxima eficiência de todo o sistema produtivo;
- abrange o ciclo de vida da empresa através de atividades de manutenção produtiva (manutenção executada pelos próprios operadores) e a melhoria contínua;
- compreende atividades de todos os departamentos, desde a produção, projetos, manutenção, qualidade até recursos humanos, pesquisa e desenvolvimento e administração;
- envolve todas as pessoas da companhia; e
- as atividades tem como base o trabalho de pequenos grupos interfuncionais autônomos.

O JIPM (1995) cita que os efeitos potenciais que o sistema TPM indica subdividem-se em:

#### Efeitos Tangíveis

- aprimoramento de produtividade por valor agregado entre 1,5 e 2 vezes;
- redução das falhas esporádicas para 1/250;
- aperfeiçoamento da eficiência geral dos equipamentos entre 1,5 e 2 vezes;
- redução da proporção de defeitos em processamento para 1/10;
- redução das reclamações dos clientes em 1/4;

- redução de 30% dos custos de produção;
- redução do estoque de produtos em 50%; e
- zero acidentes do trabalho e zero poluição.

#### Efeitos intangíveis

- controle totalmente autônomo dos equipamentos por parte do operador;
- estímulo à autoconfiança, através de operações com “zero falhas” e “zero defeitos”;
- pode ser criado um excelente ambiente de trabalho através da remoção de graxa, resíduos e poeira; e
- estímulo ao cumprimento das ordens de produção, pela boa impressão de manutenção causada aos visitantes.

Os efeitos tangíveis são mensuráveis e definem se a linha que está sendo seguida pelas atividades está correta e em consonância com as metas da empresa. Os intangíveis não são facilmente mensuráveis, e indicam como está o clima organizacional, ou seja, as condições motivacionais da empresa para que as atividades atinjam os resultados esperados.

### **2.2.2 Forma organizativa**

A razão de ser do TPM está diretamente ligada a circunstâncias externas ou de mercado, tais como qualidade, preço e entrega, em conjunto com circunstâncias internas ou necessidades dos colaboradores, tais como moral e segurança. Destas obtém-se informações necessárias para a definição dos fatores críticos de sucesso ou metas corporativas, que visam à satisfação das deficiências em qualidade, preço, entrega, moral e segurança.

Baseando-se na definição dos fatores críticos de sucesso são estabelecidos os pontos chave de atuação e executados os desdobramentos de objetivos nas diversas áreas da empresa. A partir deste ponto são utilizadas as metodologias e

ferramentas integrantes do sistema de gestão TPM, a fim de atingir as metas previstas na definição dos fatores críticos de sucesso.

Para melhor entender como o TPM está organizado para responder a estas necessidades, são definidos os seus pilares, bem como genericamente as metodologias e ferramentas utilizadas por cada um (JIPM, 1995):

- **melhoramento focalizado** que concentra técnicas de melhoria, onde 90% dos resultados tangíveis do TPM são obtidos;
- **manutenção autônoma** que produz mudança de mentalidade e a melhoria da habilidade dos operadores, os quais passam a ser responsáveis pela manutenção, melhoramento contínuo e garantia da qualidade do posto de trabalho;
- **manutenção planejada** para manutenção, a fim de obter a condição de “falha zero” das instalações. Pertencem a este pilar a manutenção preventiva, a manutenção baseada nas condições, a manutenção baseada na confiabilidade, a prevenção da manutenção, e todas as atividades que eliminam ou minimizam os tempos de indisponibilidade das instalações por parada de manutenção;
- **manutenção da qualidade** que fornece as técnicas para atingir as condições ótimas de trabalho, ou seja, sem defeitos;
- **treinamento e educação** que é a base para os demais pilares, fornecendo o treinamento e educação nas técnicas TPM, nos processos de produção, nas máquinas, na qualidade e na segurança;
- **segurança e ecologia** que produz melhorias no ambiente de trabalho e reduz os acidentes;
- **gestão antecipada dos equipamentos e produtos** que reduz os tempos envolvidos no projeto, industrialização/construção e partida, quando da introdução de novos produtos e processos; e
- **TPM nas áreas administrativas** que é responsável por reduzir a burocracia, organizar e racionalizar os escritórios e otimizar o fluxo de documentos.

As metodologias previstas em cada pilar são levadas a cabo por comitês integrados por funcionários das diversas áreas da empresa, tendo como base de atuação os fatores críticos de sucesso e os pontos chave (adaptado de JIPM, 1995).

A figura a seguir mostra resumidamente e de forma esquemática a estruturação de uma organização que pretende usar a metodologia TPM.

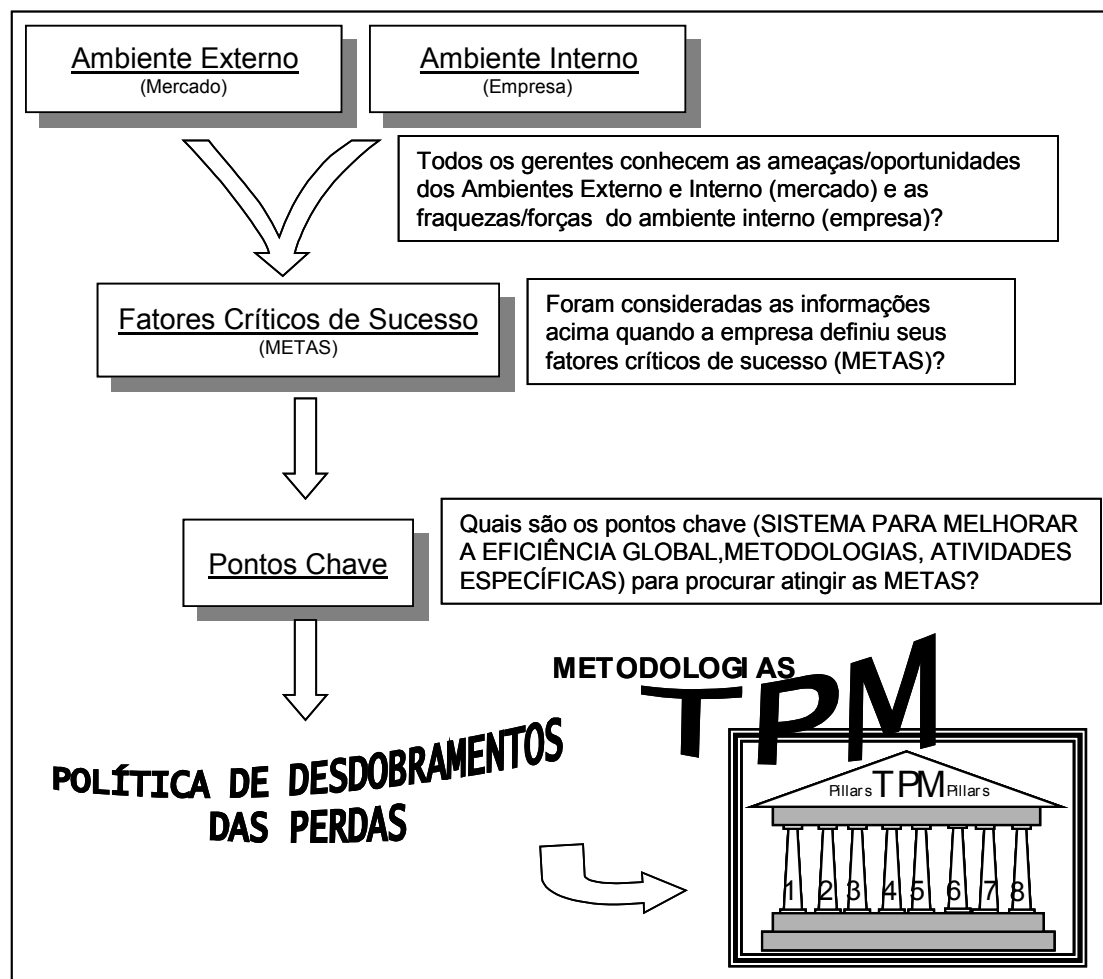


Fig. 2.2.2 – Forma organizativa do sistema TPM – adaptada de JIPM, 1995

Nas próximas seções são abordadas as perdas presentes no processo produtivo, onde então são detalhadas as seis perdas relacionadas às máquinas. Isto visa concentrar gradativamente o foco nas perdas por quebras, que culmina na introdução do CBR como ferramenta de auxílio na redução dos tempos



envolvidos no reparo. O pilar de manutenção planejada é abordado em maiores detalhes, com o objetivo de esclarecer sua participação na prevenção das quebras, na minimização das quebras e na gestão da manutenção por quebra.

### 2.2.3 Perdas do processo produtivo e a eficiência global

A compreensão adequada das perdas presentes em um processo produtivo é a base para a correta utilização das metodologias e ferramentas oferecidas pelo TPM. Segundo o JIPM (1995), a fim de obter eficiência produtiva é necessário atacar e minimizar as perdas oriundas: (i) da eficiência geral dos equipamentos, (ii) do rendimento da mão-de-obra, (iii) da energia consumida, (iv) do rendimento da matéria-prima, e (v) das ferramentas, moldes e gabaritos.

Como neste trabalho o foco de interesse está voltado para a manutenção por quebras, a partir daqui é detalhada a “Overall Equipment Efficiency” (OEE) ou eficiência geral dos equipamentos.

OEE é um coeficiente que mede a utilização efetiva dos equipamentos. Este pode ser aumentado pela minimização de seis perdas: (1) por quebras; (2) por trocas e ajustes; (3) por acionamento; (4) por pequenas paradas e operações em vazio; (5) por redução de velocidade; (6) por defeitos e retrabalhos.

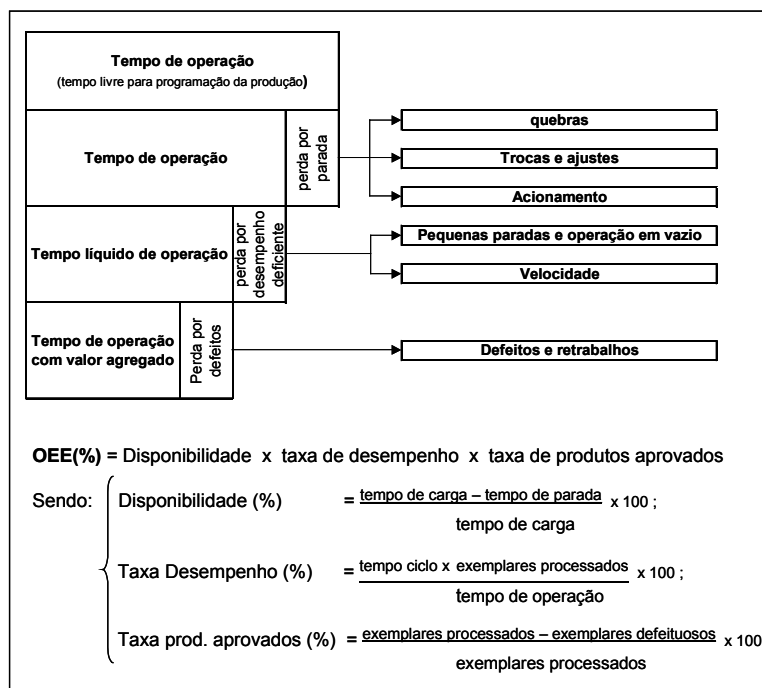


Fig. 2.2.3 – Eficiência Global dos Equipamentos (OEE) – adaptada de JIPM, 1995

Nesta dissertação, a atenção estará concentrada nas perdas por quebras.

O maior obstáculo ao rendimento dos equipamentos é constituído pelas perdas decorrentes das falhas ocorridas nos mesmos (JIPM,1995). Estas falhas podem ser classificadas em dois tipos: (i) perda de funcionalidade ou que ocorrem inesperadamente, e (ii) redução de funcionalidade ou aquelas que o equipamento continua funcionando, porém as quebras são descobertas somente após atenta observação (ex. vazão de uma bomba reduzida por problema de filtro).

As falhas por paralisação da função subdividem-se em falhas crônicas e falhas esporádicas.

As falhas esporádicas costumam ser facilmente detectáveis, demonstrando, na maioria das situações, uma clara relação entre causa e efeito. Portanto, podem ser resolvidas através de medidas corretivas, tais como restauração ou melhoria.

No caso das falhas crônicas a situação torna-se mais complexa. Como estas falhas são decorrentes de causas diversificadas e de difícil detecção, a relação entre causa e efeito costuma ser obscura, dificultando a elaboração de medidas defensivas adequadas.

Como em um equipamento apresentam-se tanto falhas esporádicas quanto crônicas, e como as ações para eliminação daquelas crônicas são de difícil definição, foi considerado neste trabalho que um ponto de partida com potencial para auxiliar na minimização das quebras seria a introdução de CBR. Este tipo de sistema de informação funciona como repositório para documentar ocorrências de falhas, a fim de serem utilizados como suporte a solução de problemas com novas ocorrências. Esta técnica inspira-se na forma humana de raciocínio, onde experiências passadas são utilizadas na solução de problemas.

Na próxima seção será discutido CBR e como este se insere nas rotinas de manutenção. Serão abordados os elementos componentes da estrutura de manutenção planejada, a fim de fornecer a linha lógica que justifica o uso do CBR.

O apêndice 1 aborda a classificação de prioridades de manutenção das máquinas e equipamentos.

## 2.3 Manutenção Planejada e CBR

A missão do pilar Manutenção Planejada é de redução do custo operacional no ciclo de vida das instalações de acordo com as prioridades da política de desdobramento das perdas. Esta atuação se resume, genericamente, em: (i) aumento da disponibilidade das instalações (confiabilidade e manutenibilidade), e (ii) redução dos custos (manutenção, qualidade, produção e energia).

Segundo o JIPM (1995), os passos da manutenção planejada são os seguintes:

- avaliação da máquina e entendimento das condições atuais;
- recuperação da deterioração e eliminação dos pontos fracos;
- definição do sistema informativo para a manutenção;
- definição do sistema de manutenção programada; e
- avaliação do sistema de manutenção programada.

Para melhor compreensão da operacionalização do sistema é adicionado o quadro a seguir, onde se podem visualizar as políticas da manutenção.

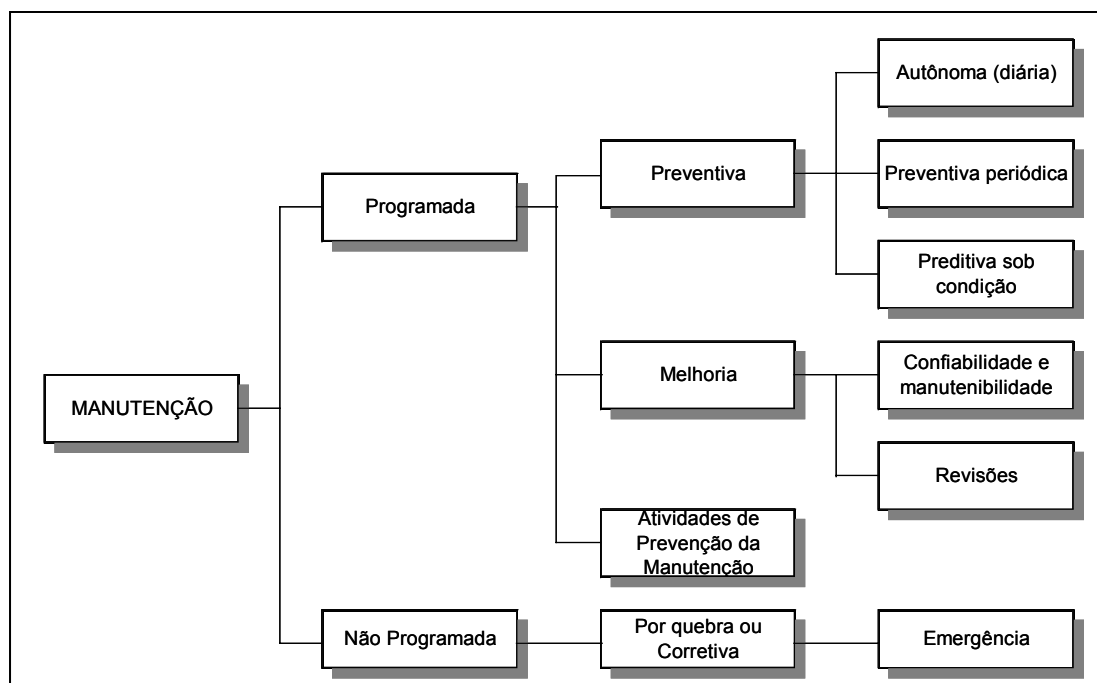


Fig. 2.3 – Políticas da Manutenção – adaptada de JIPM, 1995

### 2.3.1 Disponibilidade em manutenção

A disponibilidade operativa é a atitude do sistema de manutenção e da sua organização logística de suporte para fornecer a prestação solicitada no período estabelecido.

A disponibilidade operativa subdivide-se em: (i) confiabilidade que é o “Mean time between failures” (MTBF) ou o tempo médio entre quebras; (ii) manutenibilidade, relativa ao “Mean time to repair” (MTTR) ou o tempo médio de reparo; (iii) o sistema logístico de suporte ou tempo para início do atendimento ao equipamento e algumas derivações, conforme figura 2.3.1.

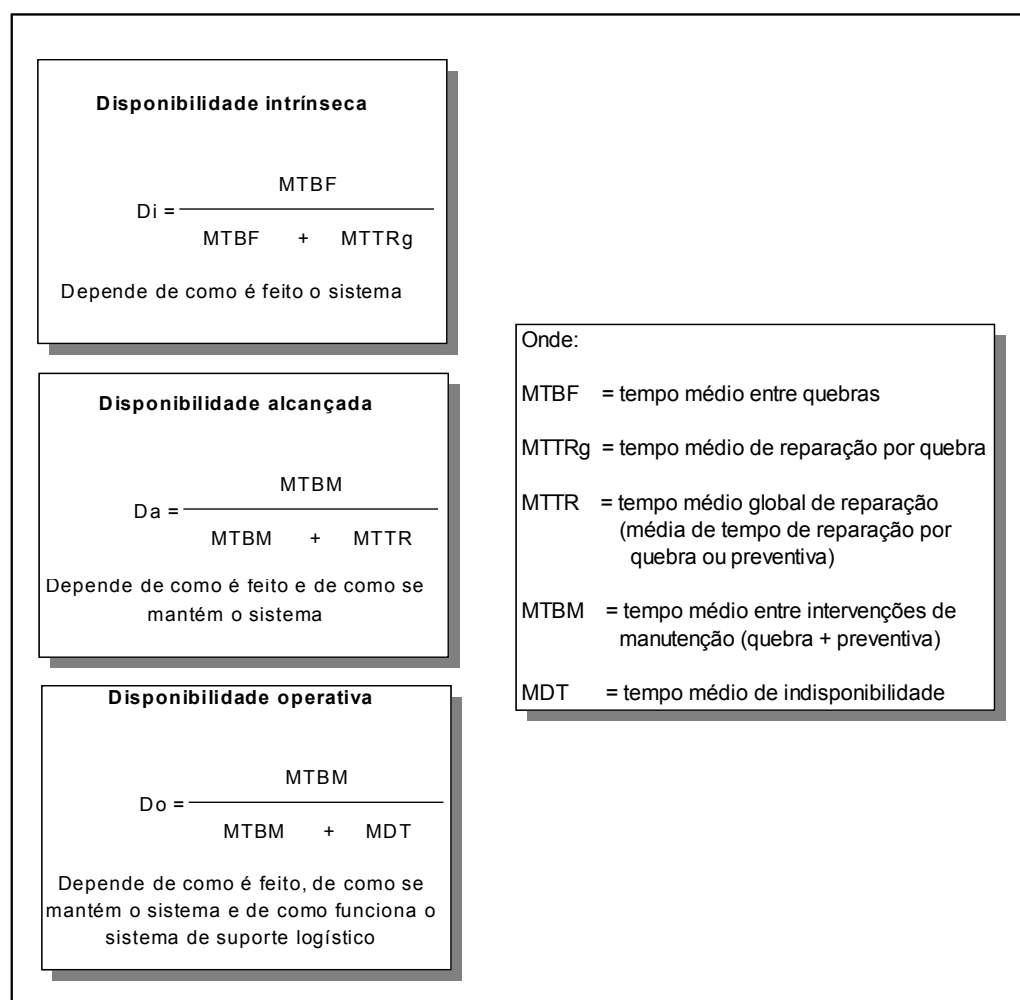


Fig. 2.3.1 – Três diferentes medidas de Disponibilidade - adaptada de JIPM, 1995

A figura 2.3.1 exprime o foco deste trabalho, que são o Tempo de Indisponibilidade e o Tempo de Reparação. Tais tempos são analisados na

próxima seção, onde pode-se visualizar a contribuição de CBR na sua minimização.

### 2.3.2 Tempo de indisponibilidade e CBR

Conforme resumidamente descrito na seção anterior, o tempo de indisponibilidade é o somatório de todos os tempos envolvidos em uma parada, incluindo o tempo logístico ou de início de atendimento.

No caso de manutenção por quebra é subdividido em: (i) tempo para evidenciação, (ii) tempo logístico e (iii) tempo ativo de manutenção (também denominado MMTR).

O tempo de evidenciação abrange desde o momento em que a quebra aparece, até o momento em que a quebra é descoberta. O tempo logístico decorre do momento em que a quebra é descoberta, até o momento que a manutenção chega à máquina e começa a intervenção. O tempo ativo é o necessário para completar a intervenção.

A figura 2.3.2 mostra detalhadamente as subdivisões do tempo ativo de manutenção.

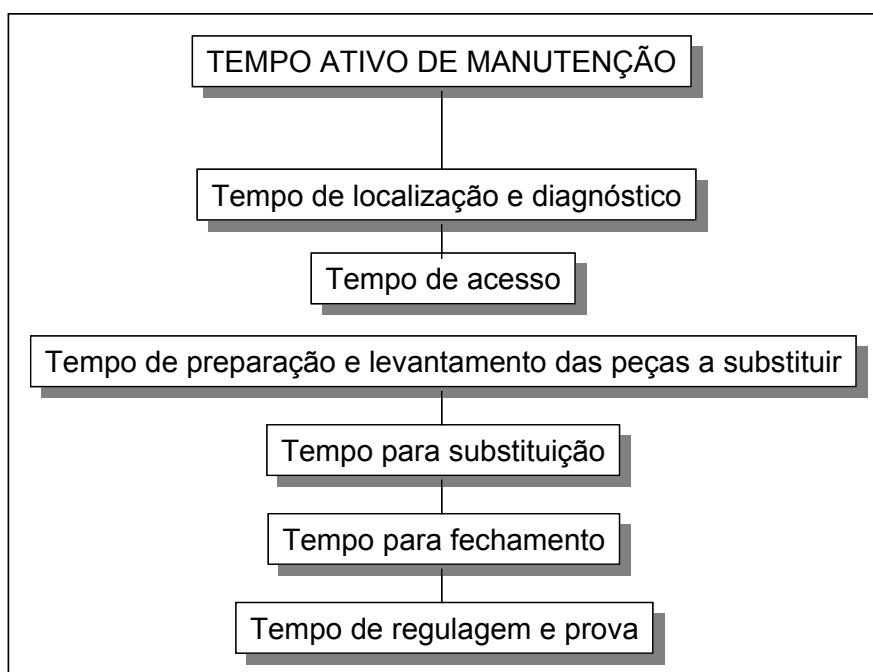


Fig. 2.3.2 – Etapas do tempo ativo de manutenção – adaptada de JIPM, 1995

A definição para cada um dos tempos do quadro anterior é a seguinte:

- tempo de localização e diagnóstico é o tempo que decorre do momento em que começa a intervenção até o momento em que é descoberto o componente quebrado – esta é a fase em que a ferramenta CBR tem a participação mais importante, onde o mecanismo de procura de casos anteriores age em auxílio ao especialista;
- tempo de acesso é o tempo que decorre do momento em que é descoberto o componente quebrado, até o momento em que o componente é desmontado – CBR mostra qual a seqüência de operações para a desmontagem com recursos de mídia;
- tempo de preparação e retirada das peças a substituir é o tempo que decorre do momento em que o componente é desmontado, até o momento em que o componente de reposição está sobre a máquina, pronto para ser montado – CBR mostra a maneira mais adequada de preparar o componente para a montagem com recursos de mídia;
- tempo de substituição é o tempo que decorre do momento em que começa a montagem do componente de reposição, até o momento em que a reposição é efetuada – CBR fornece a seqüência de operações de montagem com recursos de mídia;
- tempo de fechamento é o tempo que decorre do momento em que a reposição é efetuada, até o momento em que a máquina está pronta para ser ligada – CBR indica a seqüência de atividades usando recursos de mídia;
- tempo de regulagem e prova é o tempo que decorre do momento em que a máquina está pronta para ser ligada, até o momento em que a máquina produz a primeira peça boa (início da produção regular) – CBR pode ser usado como um mecanismo de diagnóstico para teste de funcionamento. Esta atividade fica como desenvolvimento futuro.

CBR (conforme demonstrado no estudo de caso no capítulo 5) atua diretamente na redução do tempo de localização e diagnóstico e, indiretamente,

nos demais tempos. Isto decorre da maior precisão nos diagnósticos, que evita desperdícios de tempo em tarefas de tentativa e erro. Em suma, um diagnóstico eficiente reduz o tempo ativo de manutenção, agindo direta ou indiretamente nas suas subdivisões. Esta é a razão primária para o uso da ferramenta CBR no auxílio aos especialistas da manutenção em praticamente todas as fases da intervenção de manutenção por quebra.

## **2.4 Síntese do capítulo**

A busca da excelência leva empresas a introdução de sistemas de gestão capazes de assegurar obtenção de resultados de qualidade, custo, entrega/serviço e motivação dos empregados, que permitam sua manutenção e crescimento. O TPM tem demonstrado, a partir de exemplos nacionais e internacionais de utilização apropriada, resultados positivos, onde implantado, levando a inferir que pode ser eficaz para as finalidades indicadas acima.

Para obter sucesso com TPM deve se buscar, com clareza, as circunstâncias em que a empresa esta submetida, para que então se possa desdobrar as metas por toda a organização.

Organizações industriais dependem, de alguma maneira e, em maior ou menor grau, dos seus equipamentos e máquinas para fabricação dos seus produtos. Portanto, uma das sempre presentes prioridades, em função das perdas geradas, será o controle das falhas nas instalações.

Neste capítulo foi sugerido o uso da ferramenta CBR como auxiliar do especialista da manutenção durante o diagnóstico de falhas em equipamentos, visando redução dos tempos envolvidos na manutenção.

Isto indica a importância de que fabricantes de máquinas e equipamentos forneçam sistemas CBR para o usuário final, agregados ao novo bem, como material técnico e operacional de consulta dos especialistas de manutenção.

Nos próximos capítulos são abordados os princípios de base de CBR e exemplos de utilização, como introdução teórica e prática ao estudo de caso apresentado no capítulo 5.

## **3 CBR**

### ***3.1 Introdução***

O mecanismo lógico que atua nas ferramentas CBR tem como base uma teoria de análise do raciocínio humano. Este capítulo discute “Case-Based Reasoning” (CBR) ou Raciocínio Baseado em Caso, com o intuito de familiarizar o leitor aos termos e processos utilizados nesta tecnologia de informação.

Primeiramente é descrita a teoria de raciocínio humano baseada em experiências passadas e como são aplicadas em sistemas de CBR, de forma a servir como base teórica aos capítulos posteriores deste trabalho, onde são tratados o CBR e seu processo.

Este capítulo, em conjunto com o capítulo 4 e apêndice 2 servem como base introdutória ao protótipo do capítulo 5.



### **3.2 A efetividade do raciocínio humano**

Competência humana na solução de problemas aumenta na proporção das experiências vividas em situações prévias similares. Na segunda vez que algum problema é resolvido ou alguma tarefa é executada, geralmente são usadas memórias que tornam mais fácil sua execução do que na primeira vez. Acertos e erros são lembrados e usados para encaminhar soluções de forma apropriada.

A efetividade do processo de raciocínio humano depende das experiências vividas, da associação adequada das experiências passadas com as novas situações, da adequação das adaptações nas soluções adotadas, da proficiência das avaliações e reparos e da habilidade de integrar novas experiências na memória para uso futuro (KOLODNER, 1993).

Não é descartada a possibilidade de uma pessoa com maior quantidade de experiências vividas apresentar respostas piores do que uma menos experiente. Criatividade no entendimento e adaptação podem compensar, desde que esta tenha o conhecimento teórico capaz de igualar experiências passadas. No entanto, a situação ideal seria uma união entre experiências e conhecimento teórico para análise da situação corrente e proposta de soluções.

### **3.3 O processo envolvido no raciocínio**

Kolodner (1993) define que a habilidade de entender um novo problema quando se usa velhas experiências tem duas partes: lembrar experiências passadas e interpretar a nova situação. O primeiro significa encontrar na memória a experiência mais próxima da nova situação.

O processo de interpretação compara a nova situação com a experiência lembrada. Quando situações problema são interpretadas, elas são comparadas e contrastadas a velha situação problema (KOLODNER, 1993). “O resultado é uma interpretação da nova situação, a adição do conhecimento deduzido sobre a nova situação, ou uma classificação da situação” (KOLODNER, 1993).

O processo de interpretação é usado quando não entendida adequadamente a situação e quando a solução adotada deve ser criticada em alguma medida. Em um problema claro, bem compreendido, a necessidade de uso do processo interpretativo se reduz.

O processo de adaptação de uma solução “é o processo de correção de uma velha solução atendendo às solicitações de uma nova situação” (KOLODNER, 1993). A adaptação é utilizada para introduzir algo novo na velha solução, eliminar algo, ou para executar uma substituição.

A habilidade de aprender com experiências é um aspecto importante no processo de raciocínio. Neste processo, a retro alimentação é fundamental para uma adequada interpretação dos acertos e dos erros nas soluções adotadas. Sem retro alimentação, a solução de problemas até poderia se tornar rápida, porém, repetiriam-se os erros, não aumentando a capacidade do processo de raciocínio. Portanto, a avaliação e o conseqüente reparo são importantes contribuições para a otimização do raciocínio. “A avaliação pode ser feita no contexto dos resultados de outros casos similares, pode ser baseada na retro alimentação, ou com uso de técnicas de simulação” (KOLODNER, 1993).

Como complemento do processo de raciocínio, a habilidade de integrar as novas experiências na memória apropriadamente, torna-o mais competente com o passar do tempo, obtendo melhores respostas.

O processo aumenta sua performance de duas maneiras: “lembrando velhas soluções e adaptando-as ao invés de encontrar respostas “do zero” em cada vez.” (KOLODNER, 1993). Por exemplo: “se um caso foi adaptado de forma inovadora, se foi resolvido usando algum método inovador, ou se ele foi resolvido combinando as soluções de casos passados, quando posteriormente submetido à necessidade de raciocinar, os passos requeridos para a solucioná-lo não necessitariam ser repetidos para o novo problema” (KOLODNER, 1993).

Segundo Kolodner (1993), pode-se resumir o que é discutido acima sobre o processo envolvido no raciocínio em cinco fatores qualitativos:

- das experiências vividas;

- da habilidade de entender novas situações utilizando velhas experiências;
- da correta adaptação das velhas experiências às novas situações, quando requerido;
- da competência na avaliação e reparo; e
- da habilidade de integrar novas experiências na memória de forma apropriada.

### **3.4 O que é um Caso**

*Um caso é uma peça contextualizada de conhecimento representando uma experiência que ensina uma lição fundamental para atingir as metas do raciocinador.*

*Kolodner (1993)*

Os casos se apresentam de várias maneiras (formas e tamanhos). Podem cobrir situações com o passar do tempo (ex. acompanhamento de uma máquina ao longo de várias ocorrências de quebras), podem representar um instante (armazenando uma determinada solução para um problema de quebra máquina em uma intervenção de reparo), ou cobrir qualquer tamanho da fatia de tempo entre estes dois extremos. Casos podem representar episódios de solução de problemas (auxiliar na localização da causa de uma determinada ocorrência de quebra máquina), associar a descrição de uma situação com um resultado (introdução de uma melhoria de confiabilidade em um componente de um equipamento associado ao resultado obtido), ou combinações de ambos.

“O que é comum a todos os casos é que eles representam uma situação experimentada. Tal situação, quando lembrada mais tarde, forma um contexto no qual o conhecimento intrínseco no caso se supõe aplicável” (KOLODNER, 1993).

Casos mostram-se em diferentes tamanhos e formas, cobrindo diferentes fatias de tempo, associando causa e efeito de problemas com resultados de ações tomadas.

Complementarmente, um caso guarda conhecimento de um contexto prático, gravando as experiências que divergem do esperado, levando em consideração as lições realmente utilizáveis para auxiliar o raciocinador a atingir sua meta ou selecionar suas metas mais facilmente no futuro, ou até mesmo advertir sobre possibilidade de falhas, apontando problemas imprevistos.

Como visto, um caso ensina diferentes lições. Entre várias lições possíveis, um caso pode ensinar como atingir um objetivo, vários objetivos em conjunto ou os tipos de problemas potenciais que podem ocorrer. Os casos que devem ser colocados no sistema são os que ensinam algo fundamental para os objetivos do usuário.

Portanto, da discussão acima, segundo Kolodner (1993), casos possuem dois componentes principais:

- a(s) lição(ões) que ele ensina; e
- o contexto no qual ele pode ensinar sua(s) lição(ões): também chamado de indexação de um caso. Nos diz sob que circunstância é apropriado reaver um caso para uso na resolução de uma nova situação.

### **3.5 CBR e seu processo**

*Um Raciocinador Baseado em Caso resolve novos problemas pela adaptação das soluções que foram utilizadas na resolução de velhos problemas.*

*Reisbeck e Schank (1989)*

É razoável que se aplique o que foi feito em determinada situação em outra situação similar, desde que saibamos o que funcionou bem previamente.

Um CBR utiliza casos que representam determinadas situações experimentadas. Tais situações são lembradas mais tarde quando casos similares surgem, e as decisões tomadas e o conhecimento desenvolvido fornecem o ponto de partida para interpretar a nova situação ou solucionar um problema que se apresenta.

A ênfase que será dada, na tentativa de proporcionar um melhor entendimento da utilização do CBR na manutenção por quebras em

equipamentos, é de que os casos proverão sugestões para a solução de problemas<sup>1</sup>.

Em CBR para a solução de problemas, registram-se todas as experiências vividas, sejam os problemas enfrentados, sejam as soluções adotadas no momento em que ocorreu a situação. Quando uma nova situação surge, estas soluções adotadas no passado são recuperadas e utilizadas através de um processo de identificação dos sintomas da nova situação, relacionando-os às prováveis causas.

O processo então segue dois caminhos básicos: o de utilizar exatamente a solução adotada no passado ou utilizar parcialmente esta solução, adaptando-a para a nova circunstância, realimentando o banco de casos com a nova experiência vivida.

A organização geral do sistema pode ser vista na figura 3.5.a:

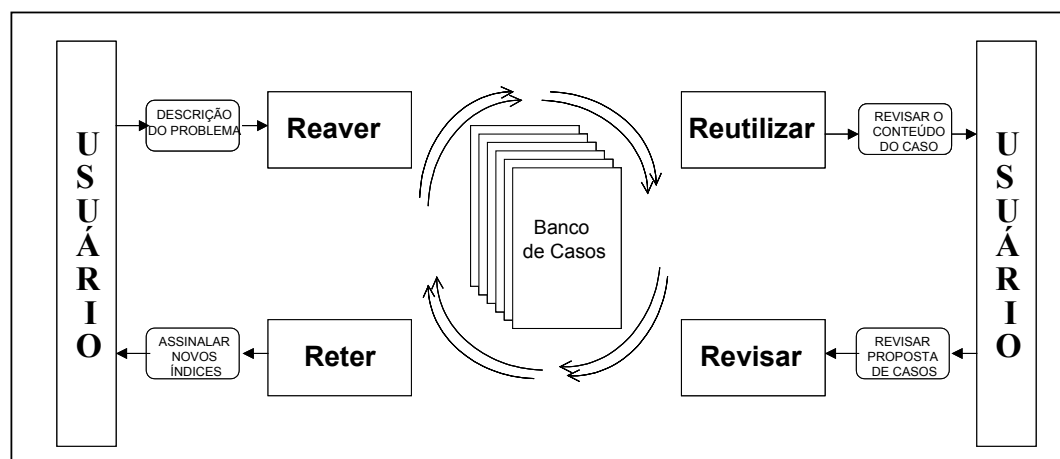


Fig. 3.5.a – O ciclo CBR - adaptada de Oliveira, L. R., 1998

O processo acima tem início quando o usuário descreve a situação que ele está enfrentando no intuito de verificar se o sistema contém um caso similar. Neste momento é simulada uma conversação com um especialista, que formula uma série de perguntas capazes de conduzir o usuário a algumas opções mais prováveis de causas e suas respectivas ações tomadas em situações pregressas. Este processo ativa o mecanismo de busca por casos similares no banco de casos.

<sup>1</sup> Embora casos sejam utilizados também para proporcionar um contexto de avaliação e entendimento de uma situação.

Usuários de CBR podem então revisar o caso recuperado e, ou aceitar as recomendações feitas e aplicá-las à situação que está sendo enfrentada, ou fornecer descrições adicionais ao sistema, se o caso recuperado não combinar com suas necessidades (OLIVEIRA, 1998).

Nas situações em que não se obtém uma resposta do sistema capaz de solucionar o problema atual, significa que a busca na base de casos foi mal executada ou que o sistema realmente não possui experiência similar armazenada na base de casos. Caso este seja o problema, deve ser inserido novo caso na base do sistema, incrementando, tal como na mente humana, sua capacidade de apresentar soluções.

Segundo Kolodner (1993) e, posteriormente, Oliveira L.R. (1998) a arquitetura do CBR é composta de três componentes principais: (i) o repositório de casos de experiências de domínio, (ii) o mecanismo de recuperação que executa a procura e a recuperação no repositório de casos, e (iii) os índices que descrevem o conteúdo dos casos e que permitem a diferenciação entre casos no repositório.

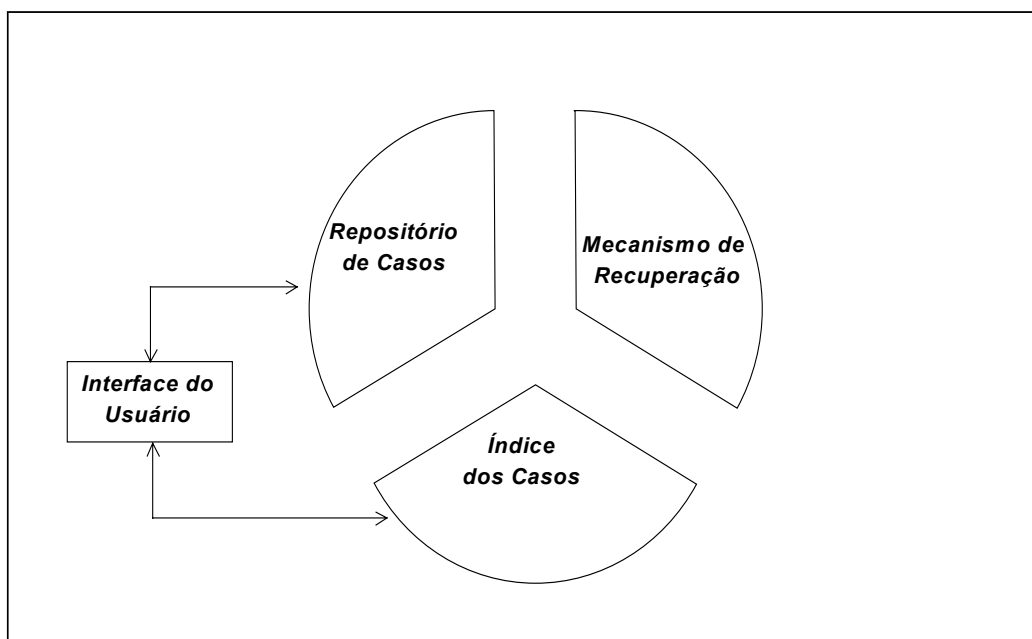


Fig. 3.5.b – Principais componentes do CBR - adaptada de Oliveira, L. R., 1998

Além destes componentes, ver figura 3.5.b, cita-se outro de caráter acessório: (iv) mecanismo de geração e/ou manutenção de um repositório de

casos, capaz de auxiliar o especialista na criação de um novo banco de casos ou o de introduzir novos casos em um banco de casos existente.

### **3.6 Representação de casos**

Em aplicações CBR, casos necessitam ser representados em uma forma que eles sejam úteis ao usuário. A forma de apresentação, dependendo da aplicação, pode ser através de vídeos, gráficos, desenhos, fotografias e descrições, estas últimas duas possibilidades de representação foram utilizadas no teste prático, vide capítulo 5 desta dissertação.

Esta dissertação procura mostrar que a simplicidade de utilização de descrições e suas soluções, apoiadas por referências fotográficas para facilitar a compreensão da ação a ser tomada, pode ser um fator de redução dos tempos envolvidos na preparação de um banco de casos.

Kolodner (1993) descreve os casos como contendo três partes principais:

- A descrição do caso, permitindo sua identificação e recuperação;
- O caso em si o qual contém informações relevantes ao domínio de sua aplicação; e
- O estado resultante do domínio quando a solução foi levada a cabo.

No caso aplicado nesta dissertação para a solução de problemas, a descrição refere-se aos sintomas percebidos de quebras de uma grampeadora de embalagens que se diferenciam entre si, tais como: grampo não conforma, não grampeia e grampeamento intermitente. As informações relevantes do domínio são as causas associadas aos sintomas, bem como as ações para saná-las em conjunto com as instruções a serem seguidas para a execução destas ações. O estado resultante do domínio é o que foi obtido quando da aplicação das ações sugeridas pelo CBR, com a conseqüente validação ou adaptação da solução adotada.

### **3.7 Recuperação de casos**

O processo de recuperação executa a procura por casos que atinjam a maior similaridade com as necessidades descritas pelo usuário. Este processo utiliza-se de algoritmos chamados mecanismos de busca. Estes algoritmos são derivados de pesquisa multidisciplinar em ciência da computação, sendo também utilizados para a recuperação de arquivos de computadores, documentos de bibliotecas, imagens e procura de dados na internet.

A procura por casos desempenha papel importante no CBR e a capacidade dos algoritmos pode variar entre a procura passiva, a qual trabalha a partir de palavras chave fornecidas pelo usuário, ou ativa, sendo capaz de interagir com os usuários ajudando-os na correção de entrada de solicitações e até mesmo de erros de ortografia.

Para um melhor detalhamento e compreensão serão abordados os três processos algorítmicos mais comuns:

- Nearest Neighbour –NN (vizinho mais próximo)

NN é o mais simples dos processos de recuperação de casos e procura no repositório pelas combinações mais próximas através da determinação de quanto similar cada caso é da nova situação descrita pelo usuário. Quanto maior for o escore de similaridade, mais similar é o caso no repositório.

O processo de combinação executado pelo NN considera as diferentes características do caso com o mesmo valor. Um caso que combina em dez características é considerado mais similar do que um caso que combina em seis. Outro tipo de combinação usa um determinado peso de importância, a fim de diferenciar as características entre si durante o processo de combinação. A fórmula a seguir (BARLETTA, 1991) representa como o computador define os escores para NN :



$$\frac{\sum \text{similaridade}(\text{In}[i], \text{Ret}[i]) \times \text{Peso}[i]}{\text{Peso Total}}$$

onde  $i$  é a característica usada para a combinação;  $\text{In}[i]$  é o valor do novo caso; e  $\text{Ret}[i]$  é o valor do caso recuperado.

Em geral o uso deste processo leva a um aumento linear no tempo de recuperação com o aumento do número de casos, pois ele procura todas as características e todos os casos no repositório. Este processo torna-se mais efetivo quando a base de casos é relativamente pequena.

- Indução

Algoritmos de indução (por exemplo, ID3 [QUINLAN, 1979]) determinam quais características executam o melhor desempenho na distinção de casos, e geram uma estrutura de árvore de decisão para organizar os casos na memória. Este processo é útil quando uma única característica de um caso é requerida como solução, e onde aquela característica é dependente de outras.

- Indução guiada pelo conhecimento

Este processo aplica o conhecimento ao processo de indução pela identificação manual das características que são conhecidas dos casos ou se acha que afete as características do caso primário. Este processo é frequentemente usado em conjunto com outras técnicas.

Watson (1994) coloca que uma dificuldade neste processo de recuperação é a aquisição dos modelos de conhecimento que guiam a recuperação. Outra dificuldade é a tarefa de fracionamento do espaço de procura de tal forma que a combinação parcial possa ser executada de forma apropriada em casos potencialmente relevantes.

### **3.8 Aplicabilidade de CBR**

O raciocínio baseado em casos é útil tanto para as pessoas que conhecem bastante uma tarefa ou domínio, pois fornece a elas uma maneira de reutilizar

raciocínios complexos executados no passado, quanto para aqueles que conhecem pouco sobre a tarefa ou domínio. Supor, por exemplo, um eletro-mecânico recém contratado para a oficina setorial de manutenção do departamento de embalagem da empresa. Embora tenha os conhecimentos técnicos generalistas necessários para que ele seja classificado nesta categoria, não teria a experiência na manutenção de grampeadoras de embalagem, que foram utilizadas na proposta de uso de CBR nesta dissertação.

Pessoal menos experiente teria que receber treinamento cujo envolvimento de tempo do encarregado da oficina e de outros eletromecânicos com experiência seria considerável, até que ele pudesse executar reparos sem auxílio, e também diagnosticar e solucionar o problema de forma aceitável. Isto incorreria em perdas indesejáveis por indisponibilidade do equipamento para a produção.

Vamos novamente supor que, ao invés de dedicar tantos esforços em treinamento, fosse possível ter uma compilação de todos os sintomas conhecidos de quebras relacionados às suas causas históricas e as conseqüentes intervenções executadas. Além disso, usaria-se, para diferenciar a importância das causas entre si, um peso para cada causa. Peso este baseado no histórico de ocorrência das causas (vide tabela 5.4 do capítulo 5), que visa direcionar a análise da quebra primeiramente para as causas mais prováveis.

Se as informações fossem utilizadas em um software CBR, seria possível reduzir os custos com treinamento de novos funcionários, além de minimizar os tempos perdidos no processo produtivo, não somente durante o período de treinamento do novo funcionário, mas também pela otimização das atividades daqueles mais experimentados.

### **3.9 Vantagens de CBR**

O CBR:

- permite ao raciocinador propor soluções rápidas para problemas, evitando o tempo necessário para derivar estas respostas do zero.

Por exemplo, um médico lembrando um diagnóstico antigo ou experiências de tratamentos anteriores experimenta estes benefícios. Embora o

CBR tenha que avaliar soluções propostas, como qualquer raciocinador o faz, ele tem vantagem em resolver problemas, pois ele pode gerar propostas facilmente. Existe considerável vantagem em não ter que refazer inferências e consumir tempo em computação. Esta vantagem é de auxílio para quase todas as tarefas de raciocínio, incluindo solução de problemas, planejamento, explicação, e diagnóstico. De fato, ao avaliar o desempenho do CASEY (KOTON, 1988a) fica demonstrada redução pela metade do tempo de processamento quando um problema já foi visto no passado.

- permite ao raciocinador propor soluções em áreas que não são completamente entendidas/experimentadas:

Existem áreas de conhecimento, onde é difícil entender completamente as relações de causa e efeito. Isto ocorre devido à influência de agentes externos de difícil previsão. Exemplos são o comportamento da economia nacional, desenvolvimento de doenças como o câncer ou mesmo falhas em equipamentos. Determinadas ocorrências de parada de máquina também não são previsíveis e tem como causa aspectos relacionados à forma de conservação adotada, tais como falta de limpeza, vedações incorretas de partes, componentes frouxos e vazamentos. Tais situações, quando não seriamente tratadas, são causadoras de quebras crônicas e, portanto, de difícil detecção. Dai, se determinada quebra crônica foi controlada ao executar as sistemáticas de conservação descritas acima, mesmo que não se saiba exatamente qual delas evitou a quebra, isto nos diz que devemos continuar com as sistemáticas de conservação independentemente do entendimento dos porquês.

Outras vezes, simplesmente encontra-se em situações que não são bem entendidas, mas na qual deve-se agir de qualquer maneira, por exemplo, escolhendo qual mantenedor deve ser admitido em uma lista com vários nomes e currículos. Embora as experiências pregressas de um profissional possam ser adequadas para o cargo, é quase impossível saber qual será seu desempenho em circunstâncias novas. CBR permite fazer suposições e predições baseadas no que funcionou no passado sem ter um completo entendimento.

- permite ao raciocinador um meio de avaliar soluções quando nenhum outro método algorítmico estiver disponível:

Usando casos para auxiliar na avaliação é particularmente útil quando existem pontos desconhecidos, fazendo com que outro tipo de avaliação seja difícil. Soluções são avaliadas no contexto de situações prévias similares. Novamente, o raciocinador executa sua avaliação baseado no que funcionou no passado.

- permite que casos sejam úteis na interpretação de conceitos em aberto e erroneamente definidos:

Um exemplo é a performance de PROTOS (BAREISS, 1989a; PORTER, BAREISS, e HOLTE, 1990) na classificação de desordens auditivas quando pouca informação é conhecida, mostrando que metodologia baseada em caso para a interpretação pode ser mais precisa do que os métodos tradicionais baseados em condições necessárias e suficientes quando as classificações são erroneamente definidas.

- permite que a recordação de experiências prévias seja particularmente útil na advertência do potencial para problemas que ocorreram no passado, alertando um raciocinador a adotar ações que evitem erros passados:

Experiências recordadas podem ser episódios exitosos ou falhos, ou seja, situações no qual as coisas não se mostraram exatamente como planejado. Considerar por exemplo a execução de um projeto de uma máquina nova similar a outras existentes. As existentes tradicionalmente apresentam diversos problemas operacionais e de manutenção em função de fraquezas originais de projeto. A fim de evitar a continuidade destes problemas no novo projeto, mas também levar em consideração os pontos tradicionalmente fortes, executa-se tendo o cuidado de corrigir no novo projeto as fraquezas conhecidas. Neste caso, o raciocinador é advertido a evitar projetar a nova máquina utilizando as soluções passadas que se mostraram falíveis, e a continuar utilizando os pontos fortes.

- permite que casos auxiliem a focalizar o raciocínio em partes importantes de um problema. Mostram quais são as características importantes de um problema:

Aquilo que foi importante em situações anteriores tenderá a ser importante em novas situações. Portanto, se em um caso prévio, um certo conjunto de

características esteve relacionado a uma falha, o raciocinador foca naquelas características a fim de assegurar que a falha não será repetida. Similarmente, se algumas características estão relacionadas a um sucesso, o raciocinador sabe focalizar nestas características. Tal foco desenvolve um papel tanto para CBR de solução de problemas quanto para CBR interpretativo. No caso de CBR interpretativo, justificativas e críticas são construídas baseadas nestas características que se provaram responsáveis por falhas e sucessos no passado. Na solução de problemas, um raciocinador poderia tentar adaptar uma solução de tal forma que incluía mais daquilo que foi responsável por sucessos prévios e menos do que foi responsável por falhas.

### **3.10 Desvantagens de CBR**

Existem também desvantagens no uso de casos para o raciocínio:

- CBR poderia ser “tentado” a usar casos antigos cegamente, confiando em experiências prévias sem a sua devida validação para a nova situação;
- CBR poderia permitir que casos influenciassem demais as pessoas na solução de um novo problema;
- freqüentemente, especialmente novatos, não são lembrados dos conjuntos de casos mais apropriados enquanto estão raciocinando (GICK e HOLYOAK, 1980; GENTNER, 1989).

Confiando em experiências prévias sem executar a correta validação pode resultar em avaliações e soluções incorretas. Recuperação de casos inapropriados pode custar um tempo precioso na solução de problemas ou direcionar para erros dispendiosos que podem ser evitados por mais métodos incrementais. Por exemplo, tempos demasiadamente elevados de parada máquina por quebra em função da dificuldade de encontrar o caso antigo adequado para a nova situação resultando em perdas ainda maiores para a operação da produção, tais como o não atendimento de pedidos no prazo, o que pode significar perda de fatia de mercado em áreas muito competitivas. Também os custos de adotar uma solução errônea podem ser consideráveis, tanto pelas perdas por defeito gerado em função

da execução inadequada de operações quanto por danos adicionais gerados à máquina em função da utilização de procedimentos e peças impróprios.

As pessoas realmente encontram no CBR uma maneira de raciocinar, no entanto, o empenho em explicar o processo envolvido no CBR poderia ajudar a aprender como ensinar pessoas a raciocinar melhor usando casos. Além disso, a tecnologia de memória de casos que está sendo desenvolvida permite a construção de sistemas de auxílio em decisões que amplie a memória humana através do fornecimento de casos apropriados, enquanto ainda permite que o usuário raciocine de uma forma natural e familiar.

### **3.11 Síntese do capítulo**

As experiências vividas por si só não determinam os resultados ótimos do processo de raciocínio, mas a correta sincronia entre experiências anteriores e criatividade no entendimento e adaptação.

Soma-se ao acima a capacidade de integrar novas situações na memória para uso futuro, e então o ciclo se estabelece: experiências passadas, novas experiências, uso ou adaptação das experiências passadas nas novas situações e memorização das novas experiências para uso futuro.

Este capítulo abordou, de forma resumida, os conhecimentos da literatura sobre CBR. Esta revisão cobriu a definição de caso e CBR. Foi dada ênfase à representação dos casos e a organização geral do sistema ou processo envolvido de reaver, reutilizar, revisar casos antigos e reter novos casos ou experiências.

Visando demonstrar de forma introdutória o uso prático de CBR, exemplos são descritos no capítulo 4.

## **4 Ferramentas e Aplicações CBR**

### ***4.1 Introdução***

O capítulo anterior focou os conhecimentos teóricos de CBR, definições, características principais, vantagens e desvantagens. Este capítulo descreve algumas ferramentas disponíveis e aplicações práticas em empresas mundialmente renomadas. Na seção sobre as aplicações é concentrada a atenção em exemplos de diagnóstico de falhas, visando criar introdução prática ao protótipo descrito no capítulo 5.

## 4.2 Origens de CBR

CBR como paradigma de Inteligência Artificial para representação de conhecimento está baseado em estudos da cognição humana (RIESBECK, 1989; SLADE, 1991; BARLETTA, 1991). A literatura das origens de CBR antes do trabalho de Schank (1977; 1979; 1982; 1999) e seu grupo de pesquisadores na Universidade de Yale é escasso e fragmentado (GUTIERREZ, 1997). Os estudos de psicologia cognitiva e aprendizagem humana levados a cabo por Norman (1975; 1983; 1988; 1990) e Rumelhart (1977) e seu grupo de pesquisa na Universidade da Califórnia–San Diego, parece ter desempenhado influência no trabalho de Schank (1982).

Este grupo de pesquisa propôs um modelo para aprendizagem humana que a divide em um processo de três estágios consistindo de (i) acréscimo, (ii) reestruturação, e (iii) sintonia. A premissa para esta teoria de aprendizagem é que o conhecimento é estruturado na mente humana na forma de uma teia interconectada de idéias e conceitos. Aprendizagem ocorre quando as pessoas adquirem nova informação (acrécimo) e a integra em suas estruturas de conhecimento existente (reestruturação). Qualquer aumento ou mudança nos seus conhecimento causa efeitos sobre a estrutura, e o processo de *sintonia* é ativado para assegurar que esta operação seja executada corretamente (NORMAN, 1975).

A *teoria da memória dinâmica* (SCHANK, 1982) forneceu a base teórica para CBR. A questão central era que o ato de lembrar uma situação prévia (visto como uma memória episódica ou caso) é uma prática comum no comportamento inteligente humano para situações que exijam solução de problema, tomada de decisão e aprendizado.

A primeira aplicação prática relatada de CBR foi o sistema CYRUS (SCHANK, 1979; KOLODNER, 1980), que continha um repositório das viagens e reuniões do ex-secretário de Estado Americano Cyrus Vance. CYRUS foi seguido por aplicações tais como MEDIADOR (SIMPSON, 1985), CHEF (HAMMOND, 1986), PERSUADER (SYCARA, 1987), e JULIA (HINRICHS, 1992), que foram desenvolvidos como parte de teses de PhD na Universidade de Yale (KOLODNER, 1993). Estas aplicações inspiraram desenvolvimentos fora de Yale como PROTOS



(PORTER, 1986; BAREISS, 1988), HYPO (ASHLEY, 1987) e CABARET (RISSLAND, 1989)\*.

Em meados dos anos oitenta, a pesquisa de CBR se expandiu através do mundo. Na Europa, por exemplo, projetos de CBR foram realizados na Faculdade de Trinity em Dublin (KEANE, 1988), na Universidade de Aberdeen na Escócia (SHARMA, 1988), na Universidade de Kauserslautern na Alemanha (ALTHOFF, 1989) e na Universidade de Trondheim na Noruega (AAMODT, 1994).

No final da década de oitenta e início da de noventa, uma série de conferências e seminários nos Estados Unidos, amparados pelo programa DARPA, ajudou a trazer CBR da pesquisa acadêmica em ciência cognitiva para a arena comercial (WATSON, 1997). Watson, I.D. (1997) citou que esta transição foi marcada pelo lançamento do aplicativo CBR ReMind™ (Cognitive Systems Inc.). Logo após vieram outros como CBR3™ (Inference Corp.), ESTEEM™ (Esteem Software Inc.) e ReCall™ (ISoft) que também foram comercializados e disseminaram CBR mundialmente.

Um das razões da aceitação de CBR relaciona-se a sua capacidade para ajudar em domínios onde o conhecimento é desestruturado e mal definido (RIESBECK, 1989; KOLODNER, 1993). Aplicações de CBR mantêm um repositório de experiências passadas nas quais os usuários podem apoiar seu raciocínio (KOLODNER, 1993; LEAKE, 1996). Autores como Kolodner (1993), Riesbeck (1989) e Schank (1996) citaram que a tarefa de desenvolvimento de CBR que se relaciona à compilação e organização de experiências passadas, desempenhou papel importante, trazendo CBR para a arena comercial.

A estado da arte atual em aplicações de CBR envolve sistemas que cobrem domínios tais como planejamento, desenho arquitetônico, auxílio legal, diagnose de doenças e atividades instrucionais (KOLODNER, 1993).

Aplicações recentes de CBR em diagnóstico de defeito de equipamentos estão sendo utilizados por grandes empresas. O ICARUS (VARMA & RODDY, 1999) da General Electric (GE) diagnostica falhas em 750 locomotivas de clientes. O ELSI (CUDDIHY & CHEETHAM, 1999), também da GE, diagnostica falha em scanners de tomografia computadorizada. Outra aplicação dentro da GE é o

monitoramento de turbinas de avião. Este sistema diagnostica defeitos nas turbinas de avião baseado em leituras de sensores tomadas nas turbinas (BONISSONE ET AL, 1999). Outro exemplo de utilização de CBR na manutenção é o CaseLine (MAGALDI, 1994) da British Airways que auxilia engenheiros de suporte técnico do Boeing 747-400 no diagnóstico de falhas das aeronaves e os reparos entre chegada e partida.

Apesar do sucesso destas aplicações de CBR, há ainda trabalho a ser feito com relação as fundações teóricas de CBR. Por exemplo, autores como Aamodt (1994), Praza (1993), Jurisica (1994), Leake (1996) e Schank (1996) insistem que CBR, como um processo de cognição humana, ainda tem muito para contribuir quando uma visão mais abrangente do aprendizado humano, aprendizado de máquina e apoio ao raciocínio, for requerida.

### **4.3 Ferramentas CBR**

Esta seção revisa algumas das ferramentas disponíveis comercialmente para desenvolvimento de sistemas CBR.

#### ***CBR-Express***

O CBR-Express é produzido pela Inference Corporation. É talvez o produto de maior êxito até o momento. CBR-Express é especificamente projetado para centrais de atendimento de clientes (“help desks”). Este atendimento tornou-se uma característica comum nos anos noventa e os gestores de tal serviço enfrentam problemas semelhantes:

É requerido treinamento para o pessoal de “help desk” a fim de torná-lo realmente útil. Treinamento custa tempo e dinheiro, e este tipo de serviço não é o melhor trabalho no mundo assim há uma elevada substituição de pessoal.

Onde os especialistas são escassos a sabedoria convencional nos diz que sistema baseado no conhecimento (KBS) é útil. Porém, como Dearden & Bridge (1993) apontam, há um problema adicional. “Help desks” tratam freqüentemente com falhas técnicas. Implementar um sistema de raciocínio baseado em modelo

(MBR) exige o conhecimento sobre falhas e soluções. Mas se o fabricante tivesse uma falha, provavelmente este não liberaria o produto. Assim, “help desks” freqüentemente têm que tratar de falhas que os desenhistas e engenheiros não enfrentaram e, por conseguinte não puderam estar no modelo-base.

Dearden & Ponte argumentam que isto é onde sistemas de CBR oferecem solução. Pela aplicação do ciclo de CBR inclusive na retenção de caso (aprendizado) recentemente identificou que faltas e suas soluções podem ser adicionadas a novos casos no momento em que eles surjam (mais simples do que adicionar novas regras). O CBR-Express aplica o ciclo de CBR com muito sucesso para auxiliar “help desks” e é atualmente o líder de mercado para “software” de “help desk” baseado no conhecimento.

CBR-Express tem estrutura de caso simples e usa o processo de comparação baseado no vizinho mais próximo – “nearest neighbour” – para recuperar casos. Uma amostra do CBR-Express que diagnostica faltas em impressoras a laser é mostrada na Figura 4.2. Desenvolvedores que usam o CBR-Express usam uma interface que trata dos elementos de programação de criação e edição de caso, resultando em um ambiente livre de sintaxe o que permite que pessoas sem experiência de programação rapidamente desenvolvam bases de casos [ WATSON & ABDULLAH, 1994].

```

BEGIN CASE CASE11
TITLE
Ink cartridge is damaged, causing black stains.
DESCRIPTION
Stains appear as small, round, black dots that
occur on front or back of page.
Sometimes wide inconsistent stains appear.
QUESTIONS
Are you having print quality problems?
ANSWER : Yes
SCORING : (-)
What does the print quality look like?...
ANSWER : Black Stains
SCORING : (default)
Does cleaning the printer with cleaning paper
remove problem?
ANSWER : No
SCORING : (default)
ACTIONS
Check toner cartridge and replace if it is low in toner or
damaged...
BROWSE TEXT
CREATION 29/7/91 14:19:22
LAST_UPDATE 29/7/91 14:19:22
LAST_USED 29/7/91 14:19:22
STATUS ACTIVE
END CASE

```

Fig. 4.2 – Exemplo de caso do CBR-Express™

Uma característica fundamental do CBR-Express é sua habilidade em lidar com texto de formato livre. Foi detectado que isto era vital para o mercado de “help desk”, pois permite que os clientes descrevam seus problemas usando suas próprias palavras em lugar de serem conduzidos através de uma sessão de perguntas e respostas que seguem uma árvore de decisão. O CBR-Express ignora palavras como: e, ou, eu, lá, etc., pode usar sinônimos, e representa palavras como um jogo de trigramas. O trígama para cartucho é: CAR, ART, RTU, TUC, UCH, CHO.

O uso de trigramas significa que CBR-Express é muito tolerante a enganos de ortografia e erros de digitação, tais como transposições de letras. Os trigramas para cartucho e cartucoh ainda combinarão. Embora existam problemas óbvios com esta questão lexical, é, no entanto, surpreendentemente poderoso e útil para o mercado do CBR-Express.

O CBR-Express examina a entrada de texto com formato livre de um usuário e verifica-o comparando aos títulos e descrições de casos existentes. Isto resulta na recuperação de um conjunto de casos. Uma lista de soluções com valores de probabilidade é gerada dos casos e isto é oferecido ao usuário junto com um conjunto de perguntas. Respostas para estas perguntas ajudam a estreitar o número de casos que combinam conduzindo a uma solução mais precisa que é então apresentada ao usuário.

No caso de uma solução que não é alcançada (CBR-Express tem um valor limite customisável) ou se uma solução não for satisfatória, o CBR-Express fecha o ciclo de CBR usando o conceito de um caso não resolvido. Se depois de procurar em uma descrição de problema e responder a várias perguntas não for obtida uma combinação com êxito, uma cópia inteira da consulta pode ser salva como um caso não resolvido. O administrador da base de casos subseqüentemente pode encontrar qual foi a solução adotada para aquele caso e criar um novo caso no repositório de casos do sistema.

Em resumo, o CBR-Express foi projetado para aplicações de “help desk” e também foi utilizado com sucesso para o auxílio inteligente de tarefa, sistemas de

acesso a informações e a publicação de conhecimento. É fácil de usar, confiável, pronto para rede e notável por sua forma de manipulação inteligente de texto.

### ***CasePoint***

CasePoint roda somente bases de casos, isto é, os usuários de CasePoint não podem desenvolver ou editar casos, para isto têm que ser utilizado o CBR-Express e não contém as ferramentas de procura para o cliente que estão presentes no CBR-Express. Porém, como um veículo que roda somente bases de casos tem certas vantagens quando comparado ao CBR-Express. Uma crítica do processo de procura e combinação do “nearest neighbour” é que se uma base de casos fosse grande e se os casos tivessem muitas características este não seria um processo eficiente. Porém, o algoritmo de combinação que o CasePoint usa é extremamente rápido.

CasePoint pode ser integrado facilmente com outras aplicações que rodam sob a plataforma Windows. Esta é uma característica interessante pois permite que o CasePoint proporcione soluções CBR para uma gama maior de problemas de diagnóstico e classificação a um custo razoável.

Uma versão atualizada (3.2 de 1998) deste software foi utilizada na geração da aplicação prática do CBR que é abordada no capítulo 5 deste trabalho. O software atualmente é denominado CasePoint® Professional e foi utilizado em conjunto com o software CBR Express® Professional Author, também versão 3.2, 1998, ambos da Inference Corporation.

### ***ART\*Enterprise***

ART\*Enterprise é o mais recente desenvolvimento da Inference Corporation. Nos anos 80 ART e ART-IM foram comercializados como ferramentas de desenvolvimento de inteligência artificial. A Inference retirou a identificação

“inteligência artificial” e agora comercializa o ART\*Enterprise como uma “ferramenta de desenvolvimento de aplicações integrada, orientada para objetos e projetada para desenvolvedores de Sistemas de Informações Gerenciais (ISG ou também conhecido pela sigla em inglês MIS). ART\*Enterprise oferece uma variedade de paradigmas representacionais incluindo:

objetos que suportam origem múltipla, encapsulação e poliformismo;

regras; e

casos.

Isto é reunido com um construtor com interface gráfica, instalações de controle de versão, e a habilidade de ligar a repositórios de dados da maioria dos formatos de sistema gerenciais de base de dados para o desenvolvimento de aplicações cliente-servidor. Além disso, o ART\*Enterprise oferece suporte às plataformas da maioria dos sistemas operacionais e plataformas de “hardware”.

O componente CBR no ART\*Enterprise é essencialmente o mesmo que no CBR-Express, pois o CBR-Express usa códigos do ART para permitir a funcionalidade de seu CBR. Assim, ART\*Enterprise utiliza o algoritmo “nearest neighbour”, porém é mais controlável que no CBR-Express. Além disso, a integração com outros meios representacionais de paradigmas de conhecimento que ele oferece é um ambiente excelente para integrar o CBR com outras técnicas e usar técnicas de MBR para adaptação de caso.

### ***Eclipse - O Raciocinador Fácil***

O Eclipse da Haley Enterprises é um parente próximo do ART. A funcionalidade do ART, escrita em LISP, foi re-implementada em C pela NASA, entrando no domínio público como a linguagem CLIPS. No final dos anos oitenta Paul Haley, ex-cientista chefe da Inference, desenvolveu nova linguagem para o ART compatível com CLIPS. Ela se tornou Eclipse.

Como o ART, o Eclipse oferece objetos, objetos C++ completamente compatíveis, e aperfeiçoou o algoritmo de busca de casos representados com textos. Eclipse está disponível para o sistema operacional DOS, MSWindows,

UNIX. Haley Enterprises afirma que o Eclipse pode ser ligado a qualquer ambiente ANSI C em 30 dias após a compra.

O Raciocinador Fácil é uma biblioteca de C fornecida com o Eclipse que fornece a funcionalidade do CBR. O Raciocinador Fácil utiliza os algoritmos “nearest neighbour” e indução na recuperação de registros em um banco de dados. Uma vez que os registros tenham sido recuperados eles tornam-se objetos do Eclipse para que possam ser adaptados por seu processo a base de regras. O Eclipse suporta uma gama de tipos variáveis e oferece características para lidar com textos semelhante ao ART (por exemplo, ignorando palavras com ruído e usando trigramas para lidar com êxito os enganos de pronúncia/digitação).

O Eclipse não fornece o mesmo ambiente de desenvolvimento facilitado como o ART\*Enterprise e lhe falta habilidade para integrar dados de bancos de dados heterogêneos discrepantes. Mas, para um programador experiente em C++ o Eclipse pode oferecer algumas vantagens - é extremamente rápido, e pode ser embutido dentro de uma aplicação C++. O produto revisado por Watson e Marir (1994) era o Eclipse versão 1.1.

### ***ReMind***

O ReMind, produzido pela Cognitive Systems Inc. Foi desenvolvido com apoio do Programa DARPA dos EUA. Foi desenvolvido originalmente para Macintosh e desde então foi sendo adaptado ao MS Windows e várias plataformas UNIX. Está disponível como uma biblioteca C, para ser utilizado em outras aplicações, e como um ambiente de desenvolvimento interativo. O produto revisado por Watson e Marir (1994) era uma versão para o MSWindows, versão 1.1. Embora alguns problemas com a interface o ReMind é a mais flexível das ferramentas de CBR revisadas, segundo os autores.

O ReMind oferece recuperação de casos pelo algoritmo “nearest neighbour”, permitindo informar pesos de importância, definidos pelo usuário, que podem ser colocados nas características dos casos. A recuperação indutiva envolve a construção de uma árvore de decisão que indexa os casos. Isto pode ser feito

automaticamente pelo ReMind sem o envolvimento do usuário ou o usuário pode criar um modelo qualitativo para guiar o algoritmo de indução.

São criados modelos qualitativos graficamente para indicar quais conceitos (características de casos) são dependentes de outros conceitos. Podem ser colocadas pesos qualitativos nestas interdependências e o ReMind então usa o modelo qualitativo para guiar o algoritmo de indução (conseqüentemente a indução guiada pelo conhecimento) resultando em árvores de decisão que melhor refletem a relação causal de conceitos nos casos. Modelos qualitativos diferentes podem ser criados para explorar teorias diferentes sobre o domínio ou permitir que questões “o que-se” sejam perguntadas.

A adaptação de caso é possível através da fórmula de adaptação da criação que ajusta valores baseados nas diferenças entre os casos recuperados e novos. Estes são também criados graficamente usando técnica de programação visual.

ReMind é uma ferramenta flexível de CBR que oferece a maior gama de métodos de recuperação de caso junto com conceitos interessantes tais como modelos qualitativos e fórmulas de adaptação visual. Ele não tem as poderosas características para lidar com textos dos produtos da Inference e Eclipse. Entretanto, fornece uma capacidade de linguagem natural elementar via um léxico de termos que podem ser arranjados em uma hierarquia de símbolos ordenada. Porém, em geral os usuários são forçados a selecionar ao invés de descrever uma situação.

### **CASUEL**

Ralph Bergmann, da Universidade de Kaiserslautern na Alemanha, relata que o CASUEL, a linguagem de Representação Comum de Caso desenvolvida pelo projeto INRECA está disponível desde junho, 1994. INRECA (Raciocínio Integrado a partir de Casos) é um projeto de raciocínio baseado em caso fundado pela União Européia sob ESPIRIT-contrato P6322.

CASUEL é a linguagem de interface entre todos os sistemas componentes do INRECA, mas também é pretendido que sirva como linguagem de interface entre o sistema integrado INRECA e o mundo externo, e como um padrão para a troca de informações entre sistemas de classificação e de diagnóstico que usam



casos. Atualmente, o CASUEL não é projetado para lidar com tarefas de projeto e planejamento. O CASUEL é uma linguagem flexível, orientada para objeto para armazenamento e troca de modelos descritivos e bibliotecas de caso em arquivos ASCII. É projetado para modelar naturalmente as complexidades de casos reais. O CASUEL representa objetos de um determinado domínio em uma hierarquia de classe que usa herança, como também diferentes tipos de relações entre objetos.

O CASUEL suporta também um formalismo de regra para a troca entre regras para a conclusão de um caso e regras de adaptação de um caso, como também um mecanismo para definir medidas de similaridade. Seu uso reduz o número de informações, ganhando tempo de cálculos necessários nos sistemas de indução ou computações das similaridades requeridas para raciocínio baseado em caso. CASUEL é uma linguagem dirigida por palavras chave, que permite ignorar definições irrelevantes. Por outro lado, CASUEL também está aberto no sentido que podem ser definidas características novas para um tipo particular de aplicação ou componente.

É pretendido que o CASUEL se torne o padrão europeu para a troca de base de casos. Existem planos de usar o CASUEL como um ponto de partida do qual um formato de intercâmbio de casos mais geral (incluindo também tarefas de planejamento e projeto) será desenvolvido (WATSON E MARIR, 1994).

CASUEL Versão 2.0 estava disponível ao público da Universidade de Kaiserslautern como um pacote que incluía:

um documento que descreve a sintaxe do CASUEL V2.0,

um conjunto de base de casos no formato CASUEL V2.0, e

um corretor gramatical CASUEL V2.0 (escrito em C) .

### ***ReCall***

ReCall é uma marca registrada de CBR da ISoft. Esta ferramenta oferece para recuperação uma combinação dos métodos “nearest neighbour” e indutivo. ReCall é codificado em C++ e está disponível para Windows, em UNIX

Workstations. Ele foi projetado em uma arquitetura aberta que permite aos usuários acrescentar funcionalidade CBR às suas próprias aplicações.

Entre as características do ReCall podem ser citadas:

é uma linguagem orientada para objeto com mecanismos de classificação, herança e de herança múltipla, descritor digitado, facetas, e relações entre objetos. Isto permite aos usuários especificar conhecimento de domínio complexo dentro de uma forma estruturada mas modular, e descrever casos que tenham descrições com “ruído”, incompletas e incertas;

índices hierárquicos múltiplos são usados para propósitos organizativos e para uma recuperação eficiente de casos. O ReCall provê métodos diferentes para analisar automaticamente a base de caso fornecendo informações para a seleção de índices e sua organização. Porém, os desenvolvedores de aplicação podem impor sua própria organização. Os procedimentos automáticos estão baseados em técnicas indutivas. Os procedimentos automáticos levam em conta o conhecimento do domínio definido nos casos, auxiliando os usuários a desenvolver aplicações de forma interativa; e

funções de similaridade levam em conta as propriedades e valores, bem como diferenças estruturais entre casos. O ReCall usa uma variante do algoritmo “nearest-neighbour” que melhora o processamento de similaridades.

O ReCall suporta dois mecanismos de adaptação diferentes: um mecanismo de adaptação padrão baseado em uma sugestão principal, e regras de adaptação definidas pelo usuário. Como o ReCall está baseado em C++, chamadas de funções externas podem permitir adaptações mais complexas.

O ReCall tem uma interface de usuário gráfica que permite um usuário, sem conhecimentos de programação, rapidamente iniciar a estruturação de uma base de casos. Através do uso de editores gráficos especializados, o usuário pode definir objetos, relações entre objetos, mecanismos de classificação e regras de adaptação. Um editor de árvore permite ao usuário interagir diretamente na organização dos casos a fim de controlar e modificar índices. Um modo de usuário permite aos desenvolvedores escrever regras de adaptação simples, ainda um modo de desenvolvimento dá acesso a uma linguagem interpretada. Os usuários

projetam, modificam e testam aplicações de forma interativa e podem trabalhar em várias base de casos ao mesmo tempo.

O ReCall pode ser conectado facilmente à aplicações externas em particular com bancos de dados e como ele está disponível como uma biblioteca C++, a funcionalidade de CBR pode ser integrada com outras aplicações. De acordo com a Isoft o ReCall tem sido utilizado para:

diagnose, incluindo sistemas de auxílio ao usuário, diagnose de falha, e sistemas de auxílio para a manutenção;

sistemas de projeto, incluindo estimativa de custo, layout de documento e dimensionamento de aplicação;

simulação, incluindo estimativa, predição, previsões de mercado, e simulação comportamental;

controle e monitoramento, incluindo supervisão de rede de telecomunicação, filtragem de alarmes, avaliação de situação, administração de situação de crise, análise de desempenho, e controle contínuo de processo; e

para recuperação de informação, incluindo análise de questão, e otimização de DBMS.

#### **4.4 Aplicações de CBR**

*Nossa experiência anterior, conhecimento, e expectativas são a chave para o aprendizado.*  
Wingfield (1979)

As aplicações de CBR são muitas e crescem rapidamente no mundo. Nesta seção são descritas algumas aplicações de diagnóstico em CBR, principalmente ligados à solução de problemas de manutenção em equipamentos.

##### **4.4.1 General Electric**

Nesta seção trata de exemplos de utilização da metodologia CBR pela General Electric, dando ênfase às aplicações ligadas ao diagnóstico de falhas em máquinas e equipamentos:

A General Electric criou sistemas CBR para diagnóstico remoto, automação de centro de atendimento de clientes por telefone e projetos de produtividade

internos. Aplicações CBR têm sido utilizadas na diagnose remota de máquinas de raio-X , locomotivas e turbinas de aviões.

O Centro General Electric (GE) de Pesquisa Corporativa e Desenvolvimento (CRD) tem criado e implantado “software” usando CBR desde 1992. Durante este período foram desenvolvidas mais do que dez aplicações que estão atualmente sendo utilizadas em produção. As aplicações cobrem uma vasta gama de domínios, situando-se em três categorias básicas:

diagnóstico remoto;

automação de centro de atendimento de clientes por telefone; e

projetos de produtividade internos.

A GE é uma das maiores e mais diversificadas corporações do mundo. Ela desenvolve, manufatura e comercializa uma enorme variedade de produtos incluindo eletrodomésticos, plásticos, geradores de energia, turbinas de aviões, sistemas médicos, sistemas de transporte e serviços financeiros.

O objetivo do GE CRD é fornecer tecnologia e liderança para um contínuo fluxo de novos produtos e processos para as iniciativas chave da companhia em Serviços, Qualidade Seis Sigma, Comércio Eletrônico, e Globalização através de todos os negócios. A premissa da iniciativa de serviços da GE é que com sua enorme base instalada de equipamentos está exclusivamente posicionada para fornecer serviços baseados na informação que auxiliem seus consumidores. CBR foi utilizado por ser muito útil para o monitoramento de equipamentos e diagnósticos remotos. A iniciativa da Qualidade Seis Sigma envolve a obtenção de dados de medições, a análise destes dados, a execução de melhorias baseado nos dados, e a manutenção das melhorias pela contínua coleta de dados. Este processo é similar ao processo de CBR e a vasta quantidade de dados que foram coletados pelo uso de Seis Sigma age como uma séria de bases de casos para as aplicações CBR. As Aplicações de Comércio Eletrônico, para auxílio ao consumidor e produtividade interna, confiaram no CBR para fornecer suporte de conhecimento para o “web site”. Finalmente, o desdobramento global dos sistemas CBR proporcionou tanto uma grande consistência nas operações da GE em todo mundo quanto o compartilhamento de casos oriundos de qualquer localidade.

Em função da afinidade que o CBR tem com as iniciativas da GE CDR ele foi usado em uma enorme quantidade de aplicações.

Uma das recentes iniciativas da GE se voltou para auxílio aos clientes na operação de seus equipamentos de forma mais produtiva, bem como o fornecimento de contratos de serviços de longo prazo. Em qualquer caso, tornou-se importante estar preparado para identificar um problema emergente com um equipamento antes que isto cause qualquer interrupção do serviço ou falha do equipamento. O Diagnóstico Remoto pressente sendo capaz de coletar os dados requeridos do equipamento e aplica ferramentas baseadas no conhecimento para executar esta função.

A partir daqui serão abordados estes exemplos de utilização em diagnóstico dentro da GE:

### **ICARUS**

Locomotivas são sistemas eletromecânicos complexos com muitos subsistemas e modos de falhas. Os subsistemas se estendem desde sistema de computador, a sistema de controle, sistema de propulsão, sistema de lubrificação, sistema de geração de energia, sistema de tração, etc. Estes sistemas interagem de forma estreita a fim de manter a locomotiva funcionando. Do ponto de vista da tarefa executada, no entanto, a configuração de cada sistema individual pode ser modificada ou melhorada.

O objetivo de ter um diagnóstico remoto em locomotivas é o de estar apto a identificar se uma falha de equipamento já ocorreu, ou está por ocorrer a bordo de uma locomotiva, o que poderia resultar em uma locomotiva parada sobre os trilhos. O custo para a linha férrea de uma locomotiva imóvel sobre os trilhos é bastante alto, e as perdas associadas de produtividade podem ser ainda maiores. O desafio em projetar um sistema de diagnósticos para locomotivas nasce do fato de que é quase impossível articular milhares de regras, considerando o tempo envolvido, para cobrir compreensivamente os modos de falhas das locomotivas. Além disso, manter uma base de conhecimento estático para a prevenção da obsolescência requereria uma enorme quantidade de esforços contínuos.

CBR foi identificado como uma potencial solução para a criação de um sistema de diagnóstico possível de ser mantido. Várias bases de dados foram estudadas para catalogar as fontes de informação que poderiam fornecer informações relacionadas a casos. Uma significativa fonte de informação foram os registros de falhas históricas gerados pelas locomotivas. Eles foram comparados com o histórico de reparos das locomotivas para criar os casos. Um caso inicialmente consistia de falhas registradas de quarenta dias antes que um reparo fosse executado na locomotiva. Havia 600 diferentes tipos de falhas que poderiam ser registradas, e aproximadamente 600 tipos diferentes de reparos que poderiam ser executados.

Um novo algoritmo foi desenvolvido para auxiliar o sistema a entender e aprender os pesos associados com os padrões de falhas. Os padrões de falhas que foram considerados incluíam falhas individuais, combinações de falhas, o número de ocorrências de falhas em um dia, bem como a mais longa extensão contínua em dias no qual uma falha ocorre. O aprendizado dos pesos permite ao sistema isolar os indicadores de falta que foram verdadeiramente relevantes na indicação de qual conserto era para ser executado. Os casos foram comparados e agrupados baseados em características relacionadas ao seu peso (importância), o que assegurou que a relevância fosse avaliada baseando-se em indicadores genuínos e não ruído.

O sistema (VARMA & RODDY, 1999) levou 8 meses para ser desenvolvido e foi inicialmente desdobrado sobre 750 locomotivas. Sucessos e falhas no diagnóstico foram localizados e usados para verificar a qualidade dos casos bem como para adicionar casos de maior qualidade ao sistema. Acima de tudo, a performance do sistema continua sendo melhorada com o tempo e atualmente é capaz de fornecer uma precisão de 70% em mais de 75% dos problemas.

### ***ELSI***

Será examinado o uso de um sistema de diagnóstico baseado em caso construído pela GE Sistemas Médicos (GEMS).

Um Índice de Similaridade de Registro de Erros (ELSI) (CUDDIHY & CHEETHAM, 1999) foi primeiramente concebido no início dos anos noventa para resolver um desafio de diagnóstico em Scanners de Tomografia Computadorizada (CT). A GEMS construiu uma infra-estrutura para permitir que a área de assistência técnica conectasse, através de linha telefônica discada, com o equipamento de imagem e diagnosticasse falhas enquanto falava com o cliente no telefone. Uma vez que o engenheiro da assistência técnica tivesse examinado o equipamento remotamente, as questões do cliente podiam freqüentemente ser resolvidas pelo telefone. Se peças e reparos fossem necessários, o engenheiro de assistência técnica poderia enviar um engenheiro de campo com as peças corretas em mãos. Os registros de erros foram inicialmente designados como ferramentas de depuração para os desenvolvedores, e não como ferramentas de diagnóstico para os técnicos da assistência técnica. Os registros não foram bem formatados, e continham uma mistura de mensagens de estado normal e mensagem de erros. As mensagens eram documentadas uma a uma, contudo foram usadas falhas de equipamento para gerar desdobramentos mais complexos dos erros. O reconhecimento destas combinações de mensagens de erro foi puramente uma forma de praticar utilizada pelos engenheiros mais experimentados de assistência técnica. Um sistema automatizado foi necessário para encontrar estes padrões e catalogá-los, criando uma base de experiência comum entre os engenheiros. ELSI foi criado para ir de encontro a este desafio.

Uma primeira tentativa de um banco de casos para o ELSI proporcionou uma independência de plataforma (o sistema poderia ser usado em diferentes modelos e tipos de equipamentos), uma pequena necessidade por coleta de conhecimento dos projetistas do equipamento, e a habilidade de manter a área de projetos ciente das mudanças requeridas tão logo novos casos tenham surgido.

ELSI é um processo com oito passos onde os registros de erros são obtidos no passo 1 e pré-processados no passo 2. No passo 3 os registros são comparados a outros registros que tenham sofrido os mesmos reparos, e os maiores blocos possíveis de ocorrência similares são extraídos. Quando um novo caso é diagnosticado, seus registros são procurados em todos os blocos conhecidos, e sua similaridade aos casos conhecidos é determinada pelo relatório de quais casos

anteriores dividem a maior parte dos sintomas com o novo caso (após o processo de “pesagem”). No passo 4, os blocos de registro de erros então dão pesos inversamente proporcionais ao número de tipos diferentes de problemas que tenham gerado o bloco. Blocos que aparecem somente por um reparo são dados os maiores pesos. Aqueles que aparecem para muitos reparos diferentes são descartados. Os passos 5 a 8 dizem respeito a tarefas de atualização e relatórios.

Usando uma função adjunta chamada “confiança” (CHEETHAM, 2000) foi aumentada a precisão e reduziu as necessidades de manutenção do sistema. A medida de confiança executou um papel chave permitindo o ELSI ser manuseado por usuários com habilidades computacionais limitadas, onde eles adicionaram centenas de novos casos e rodaram diagnósticos de centenas de problemas em muitos anos sem requerer maior auxílio dos desenvolvedores do sistema.

### ***MONITORAMENTO DE TURBINAS DE AVIÃO***

A aplicação do CBR mostrada aqui diagnostica turbinas de avião baseado em leituras de sensores tomadas nas turbinas. É desejável que se esteja apto a detectar falhas ínfimas antes que elas causem danos secundários dispendiosos ou resultem em igualmente indesejáveis paradas das turbinas. Com esta finalidade, os prestadores de assistência técnica têm acompanhado por longo tempo o comportamento das turbinas, através da medição e análise de uma série de parâmetros do sistema, a fim de tomar ciência das mudanças que poderiam ser indicativas do desenvolvimento de falhas. No entanto, freqüentemente as falhas podem não ser reconhecidas distintivamente, pois a condição de operação considerada “normal” varia imprevisivelmente. Isto se dá em parte pela enorme quantidade de ruído, fraca correção dos modelos de primeiro princípio ou modelos de regressão, mudanças das programações, manutenção, sensores deteriorados ou mal calibrados, aquisição de dados de falhas, etc.

Desde que os desgastes térmicos, químicos e mecânicos degradam a performance da turbina, o comportamento normal é constantemente redefinido. Embora estas mudanças sejam esperadas, elas são de difícil predição com uma necessária precisão, pois são direcionadas por uma série de fatores externos. Por



exemplo, o efeito da manutenção, tal como a substituição de peças, é muito difícil de capturar. A fim de reter propriedades classificatórias desejáveis estas mudanças têm de estar ligadas diretamente em mudanças da base de casos.

A GE preparou o sistema utilizando CBR adaptativo (BONISSONE ET AL, 1999), o qual permite que os agrupamentos de casos se adaptem as mudanças de ambiente. Casos são agrupados em conjuntos de casos similares. É permitida a mudança desses agrupamentos. O centro pode se mover e sua forma pode variar. Isto foi obtido usando filtros da média de movimentos lentos exponencialmente pesados para determinar a aplicabilidade dos casos. Após escolher o número inicial de agrupamentos, suas posição e associação, a adaptação de um agrupamento é executada com o filtro. O esquema do CBR adaptativo foi testado com os dados históricos da turbina a gás. Diferentes eventos de condições de falhas similares foram examinados e divididos em casos de treinamento e de teste. Para treinamento, o uso tanto de colocação deliberada e pontos nucleados ao acaso (para os centroids dos agrupamentos) foram investigados. Colocando os pontos iniciais em uma vizinhança geral esperada resultou em um rápido aprendizado e convergência. Convergência foi atingida após uma média de aproximadamente 20 interações, dependendo das condições iniciais e o erro final aceitável de convergência.

A ferramenta foi desenvolvida em aproximadamente 15 meses e está atualmente em uso. Após o treinamento, o sistema foi usado para a classificação do teste de dados “on-line”. A taxa de falso negativo está tão baixa quanto as ferramentas de tendência tradicionais (não observado com os dados de teste disponível) e a taxa de falso positivo melhorou de 95% para menos de 1%.

#### **4.4.2 Redução De Variações Em Uma Montadora Automotiva**

Redução de variação nas fases iniciais de montagem do corpo de um veículo é o elemento crítico na melhoria de sua qualidade. Se a variação é baixa, os pontos nominais da montagem podem ser sintonizados para coincidirem com as especificações de projeto. Então, diversas questões relacionadas à satisfação dos clientes, tais como, ruído produzido pelo vento, entrada de água, esforço para

fechamento das portas, e acabamento, serão melhor controlados. Por outro lado, se a variação é elevada, então a montagem sempre será impossível de sintonizar. Conjuntos e componentes não se ajustarão corretamente, e muitas questões de difícil diagnóstico e reparo aparecerão, tanto na montagem quanto no pós-venda.

Cada fábrica de montagem tem um time de gestão dimensional (DM), o qual lida com problemas ligados a redução de variação e controle dimensional. Estes times não mantiveram, no passado, arquivos do seu trabalho e também não compartilharam problemas resolvidos com outros times. Algumas vezes, questões que foram resolvidas em um ano tiveram que ser resolvidas novamente no ano seguinte “do zero”, pois registros e a memória falharam em reaver os detalhes de soluções passadas.

Em função disso, está sendo executado um grande esforço dos times DM na introdução de sistemática para gestão do conhecimento, a fim de compartilhar e arquivar as lições aprendidas (WEBER ET AL, 2000). Elementos deste trabalho incluem o desenvolvimento de uma ontologia para o controle dimensional nas seções de montagem da carroceria de automóveis, estabelecendo um simplificado um boletim para o compartilhamento diário, projetando uma estrutura de casos para o arquivo das lições que satisfariam as necessidades de relatórios e ao mesmo tempo facilitariam o uso de um mecanismo de recuperação da base de casos, projetando uma interface de usuário que seria aceitável aos engenheiros e técnicos de processo. Este trabalho encontra-se nos estágios iniciais.

A redução de variação (VR) é a chave do controle dimensional e foi exatamente onde foi concentrado este projeto. O “software” que está sendo utilizado chama-se VRAdviser.

Em problemas VR por vezes não existe uma óbvia ligação entre o problema observado em uma carroceria e sua causa raiz. Porém, solucionadores de problemas experimentados tendem a trabalhar pela inter-relação de um problema atual com um problema similar anterior, o que fornece o ponto de partida para o diagnóstico. Esta é uma das principais razões de que a solução de problemas VR é uma potencial aplicação de um sistema de base de casos.

Uma “história de caso” VR típica:

começa com o primeiro sintoma,

prossegue gerando sintomas adicionais através da análise estatística dos dados medidos (inclui estudos de correlação, análise de furações, e análise de animações de componentes principais),

continua na geração de uma lista de causas raiz possíveis no ponto médio aproximado do caso,

move-se para testes físicos e inspeções, e

é completado por testes finais que confirmam a causa raiz e a cura.

Este protótipo está em uso em uma fábrica de montagem. Em 1999 a maior parte do tempo do pessoal de desenvolvimento foi gasto no aprendizado de como utilizar a engenharia ontológica e em construir uma boa relação de trabalho com a fábrica.

O objetivo de longo prazo é o de interligar todas as fábricas de montagem da empresa à mesma base de casos, de tal forma que as lições aprendidas na fábrica A possam beneficiar a fábrica B. Não existe nenhum problema de ontologia quando diversas fábricas montam um mesmo produto, e a recompensa mesmo nesta situação seria considerável, no sentido de que os problemas encontrados e resolvidos na fábrica A poderiam ser rapidamente e sistematicamente usados na fábrica B. Para produtos diferentes, as questões ontológicas deverão migrar de uma linguagem específica, com o auxílio dos times DM, para uma linguagem mais genérica que poderia sugerir soluções através das plataformas diferentes. Este é um dos próximos objetivos da empresa.

#### **4.4.3 Lockheed Missiles And Space – Clavier**

O sistema utilizado pela Lockheed talvez seja a primeira aplicação comercial de CBR e está sendo operando desde 1990 (HENESSY, 1991, 1992; HINKLE, 1994).

Aeronaves modernas contêm muitos elementos que são fabricados de materiais compostos. Estes materiais requerem cura em enormes autoclaves. A Lockheed, a companhia aeroespacial americana, produz muita destas peças. Cada peça tem suas próprias características de aquecimento e deve ser curada corretamente. Se a cura não está correta a peça terá que ser descartada. Infelizmente, as características de aquecimento das autoclaves não estão completamente entendidas (não há um modelo que os operadores possam utilizar). Isto é complicado pelo fato de que muitas peças são aquecidas simultaneamente em um único autoclave e as elas interagem na alteração das características de aquecimento e resfriamento da autoclave.

Operadores das autoclaves da Lockheed utilizavam desenhos de arranjos de peças que obtiveram sucesso. Porém, isto era complicado pelo fato de que os arranjos nunca eram idênticos porque as peças eram requeridas em tempos diferentes e porque o projeto de materiais compostos estava constantemente mudando. Por conseguinte, os operadores tinham que selecionar um arranjo que eles achavam ideal.

Quando Lockheed decidiu implementar um KBS (Sistema baseado no conhecimento) para auxiliar os operadores das autoclaves foi optado pelo CBR. Seus objetivos eram:

reutilizar cargas anteriores bem sucedidas;

reduzir a pressão de trabalho sobre um ou dois especialistas;

reter a experiência dos especialistas como recurso corporativo (preservação do conhecimento da companhia); e

ajudar a treinar pessoal novo.

CLAVIER procura uma biblioteca de arranjos bem sucedidos das autoclaves. Cada plano é descrito em termos de:

peças e sua posição relativa na mesa;

mesas e suas posições relativas na autoclave; e

estatísticas de produção tais como tempos de início e fim, pressão e temperatura.

CLAVIER encontra substitutos para peças em um arranjo que não coincide, e recomenda novos arranjos para os operadores. Ao adaptar novos arranjos a partir de arranjos prévios o CLAVIER:

cria novos arranjos adaptando partes dos arranjos prévios;

minimiza o número de peças requeridas e que não estão incluídas no arranjo;

maximiza o número de peças com alta prioridade incluídas no arranjo; e

maximiza o número total de peças em um arranjo.

CLAVIER age como uma memória coletiva para Lockheed e como tal fornece um modo útil de transferir experiências entre operadores de autoclave. Em particular o uso de CBR fez com que a aquisição de conhecimento inicial para o sistema fosse mais fácil. É questionável se teria sido possível desenvolver um sistema de CBR se os operadores não pudessem dizer por que um plano de autoclave particular tinha êxito. CLAVIER também demonstra a habilidade de sistemas de CBR para aprender. O sistema cresceu de 20 a mais de 150 arranjos bem sucedidos e seu desempenho melhorou de tal forma que agora ele recupera ou adapta um arranjo de autoclave com êxito em 90% das vezes.

#### **4.4.4 British Airways – CaseLine**

CaseLine é a primeira geração de demonstrador de tecnologia usado pela British Airways (BA) para avaliar o potencial de CBR (Magaldi, 94). CaseLine ajuda os engenheiros de suporte técnico do Boeing 747-400 com a diagnose de falhas das aeronaves e os reparos entre chegada e partida da aeronave. Ele avisa sobre defeitos passados e procedimentos conhecidos de reparo e recuperação bem sucedidos. Quando uma falta em um Boeing 747-400 é descoberta ou é suspeitada, tanto pelos equipamentos de monitoramento quanto pelos pilotos, os detalhes são transmitidos para o pessoal de terra. O avião somente pode ser programado para estar na pista durante uma hora durante a qual os engenheiros têm que identificar a causa da falha e consertar o defeito. Isto é complicado porque os defeitos são freqüentemente obscuros e têm causas complexas e incompatíveis. Ao atrasar o avião os horários seriam atrapalhados ao custo de

milhares de libras por minuto. Deixar o avião decolar com uma falha não resolvida poderia ter conseqüências catastróficas.

CaseLine é implementado no ReMind. Os usuários podem introduzir informação de diagnóstico e controlar a procura de informação disponível para conserto e recuperação. O sistema contém cerca de 200 casos (início de 1994) que descrevem exemplos de falhas anteriores e detalhes de ações dotadas com êxito.

São fornecidos três modos principais de procura:

capítulo ATA - um número de dois dígitos que se refere a uma falha prevista no manual de manutenção do avião;

mensagem EICAS - um texto alfanumérico com comprimento preciso mas variável que indica uma falha;

defeito informado - um "string" de comprimento variável que descreve uma falha.

Estes podem ser usados sozinhos ou em conjunto para a recuperação de um caso usando "nearest neighbour" ou recuperação indutiva. Normalmente, um único caso é recuperado se uma característica exata fosse especificada ou vários casos se uma característica parcial fosse requerida. CaseLine auxilia os engenheiros a identificar procedimentos que têm a probabilidade mais alta de sucesso. O engenheiro ainda é obrigado a usar os manuais de manutenção da aeronave como uma autoridade final e seguir procedimentos aprovados. Mas o CaseLine reduz demoras dispendiosas, retirando rotas menos produtivas para a análise e localização de falhas.

Na avaliação inicial da BA é declarado que "o CBR tem um conjunto de capacidades bem constituídas que complementam uma gama específica de problemas de engenharia. Estes são por natureza, freqüentemente mais do que somente técnicos em sua origem, e requerem uma conscientização de que muitos fatores humanos, organizacionais e operacionais competem quando se criam soluções" (MAGALDI, 94). Em particular a BA identifica três benefícios do CBR:

CBR é intuitivo tanto para desenvolvedores quanto para usuários;

CBR complementa o raciocínio humano e a solução de problemas; e

CBR retém o rico contexto de uma situação problema – ele não descarta nada. Ele simplesmente indexa em características diferentes daquelas que ele armazenou.

O próximo ponto é de interesse legal. Se a BA fosse processada por negligência, usando o CaseLine, poderia ser demonstrado que os engenheiros haviam seguido procedimentos que se provaram exitosos no caso X - uma defesa simples.

#### **4.4.5 Análise sobre as aplicações CBR**

Pelos exemplos descritos ao longo desta seção, pode-se concluir que a utilização de CBR deixou de ser tecnologia de ponta, tornando-se ferramenta de uso prático, auxiliando na identificação de defeitos em equipamentos e suas causas.

As experiências descritas nestas aplicações, bem como sua forma e conteúdo, serviram como suporte ao desenvolvimento do protótipo descrito no capítulo 5.

### **4.5 Síntese do capítulo**

O capítulo evidencia resultados possíveis de se obter com a utilização adequada de CBR para diagnóstico de falhas em equipamentos e instalações.

O sistema baseado no conhecimento é útil em áreas onde exista escassez de especialistas. Portanto, o uso de CBR tem crescido exatamente para ser um repositório de informações da organização, capaz de minimizar custos com treinamento e parada de função das instalações.

Das ferramentas e aplicações analisadas neste capítulo, pode-se listar algumas capacidades importantes:

no caso “Help Desk” permite que os clientes descrevam seus problemas usando suas próprias palavras em lugar de serem conduzidos através de uma sessão de perguntas e respostas que seguem uma árvore de decisão;

são capazes de examinar a entrada de texto com formato livre de um usuário e verifica-o comparando aos títulos e descrições de casos existentes;

quando ativados os mecanismos de procura de casos anteriores similares, resulta na recuperação de um conjunto de casos. Uma lista de soluções com valores de probabilidade é gerada dos casos e isto é oferecido ao usuário junto com um conjunto de perguntas. Respostas para estas perguntas ajudam a estreitar o número de casos que combinam conduzindo a uma solução mais precisa que é então apresentada ao usuário;

provêm métodos diferentes para analisar automaticamente a base de caso fornecendo informações para a seleção de índices e sua organização. Porém, os desenvolvedores de aplicação podem impor sua própria organização;

diagnose, incluindo sistemas de auxílio ao usuário, diagnose de falha, e sistemas de auxílio para a manutenção;

sistemas de projeto, incluindo estimativa de custo, layout de documento e dimensionamento de aplicação;

simulação, incluindo estimativa, predição, previsões de mercado, e simulação comportamental;

controle e monitoramento, incluindo supervisão de rede de telecomunicação, filtragem de alarmes, avaliação de situação, administração de situação de crise, análise de desempenho, e controle contínuo de processo; e

pela aplicação do ciclo de CBR inclusive na retenção de caso (aprendizado) recentemente identificou que faltas e suas soluções podem ser adicionadas a novos casos no momento em que eles surjam.

É importante salientar também o uso do CBR com fins legais. Se uma empresa fosse processada por negligência, poderia ser demonstrado que os especialistas haviam seguido procedimentos que se provaram exitosos em casos anteriores similares. Isto permitiria uma defesa consistente e simples.

Baseado nas análises deste capítulo pode-se concluir que CBR é (i) uma ferramenta intuitiva tanto para desenvolvedores quanto para usuários, (ii) um complemento do raciocínio humano e na solução de problemas, e (iii) o retentor do



rico contexto de uma situação problema – ele não descarta nada. Ele simplesmente indexa em características diferentes daquelas que ele armazenou.

Este capítulo é importante para escolha do sistema CBR para cada aplicação e objetivo particular.

Focalizando no objetivo desta dissertação, que busca ferramenta capaz de reduzir os tempos de parada para manutenção de equipamentos, através da redução dos tempos envolvidos no diagnóstico da causa, a escolha do “software” CBR Content Navigator™, que utiliza, tanto o CasePoint™ quanto o CBR-Express™, levou em consideração:

o uso original em “help desks” que se assemelha ao processo utilizado durante o diagnóstico de falhas na manutenção de equipamentos;

a facilidade de introduzir, indexar e recuperar casos, através da estrutura amigável, tanto organizativa (arquivo usando pastas similares ao Windows Explorer™), quanto gráfica;

a habilidade de lidar com entradas de texto livres, comparando-os aos títulos e descrições de casos existentes; e

sua disponibilidade acadêmica para desenvolvimento de sistemas, bem como, a experiência de pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul neste “software”, o que foi importante para facilitar seu aprendizado e uso.

## **5 Desenvolvimento de CBR para diagnóstico de quebra**

### **5.1 Introdução**

Os capítulos anteriores descrevem a lógica que norteou a escolha de CBR para criação de protótipo capaz de auxiliar especialistas de manutenção a diagnosticar falhas em equipamentos durante o período de tempo de parada por quebra de máquina.

Este capítulo apresenta o desenvolvimento de protótipo de CBR onde são avaliados casos de falha e manutenção em uma grampeadora de cartelas em sacos plásticos de uma fábrica de ossos artificiais para consumo canino. É proposta a utilização de CBR para auxiliar no diagnóstico das falhas.

É descrito o processo de uso dos registros históricos de falhas e reparos executados, bem como a experiência dos especialistas na geração de um banco de casos, utilizando o programa CBR Content Navigator da Inference Corporation.

## **5.2 Grampeadora de cartelas**

O equipamento utilizado para o desenvolvimento do protótipo pertence à área de empacotamento e embalagem da planta de Sapucaia do Sul da Pet Products Artefatos de Couro Ltda. Setenta por cento das embalagens produzidas no setor são processadas por este tipo de equipamento, tornando-o dos mais importantes da linha de produção. Inclusive existem reservas para sua substituição nas linhas de produção, em caso de falha no equipamento.

Suas principais características são:

- fácil manuseio;
- treinamento requerido para sua operação é simples;
- trocas e ajustes são fáceis de executar;
- operação totalmente manual;
- média produtividade quando comparado a grampeadoras semi-automáticas;
- risco de acidentes com lesões corporais é baixo;
- baixa geração de refugo e retrabalho;
- requer mão-de-obra de manutenção especializada;
- apresenta diversos componente de desgaste;
- histórico variado de causas de quebras;
- construção não suficientemente robusta para suportar o tipo de trabalho;
- vedação contra a penetração de sujidades no seu interior é inadequada;
- equipamento importado;
- manuais de operação e manutenção pobres;
- peças de reposição importadas e caras;
- perdas por pequenas paradas é significativa.

A grampeadora subdivide-se em 4 sub-conjuntos, somando 98 peças no total.

Os sub-conjuntos são (veja Fig. 5.2.a):

- a. **Acionamento:** motor elétrico, conjunto de polias e correias, cabos e conexões de força e pedaleira;
- b. **Desbobinamento do arame:** suporte do carretel do arame, conjunto de freio do carretel e trava/contra-recuo do arame;
- c. **Avanço e aplicação do grampo:** conjunto de avanço, eletro-ímã e conjunto de aplicação;
- d. **Estrutura:** base e suporte dos componentes.

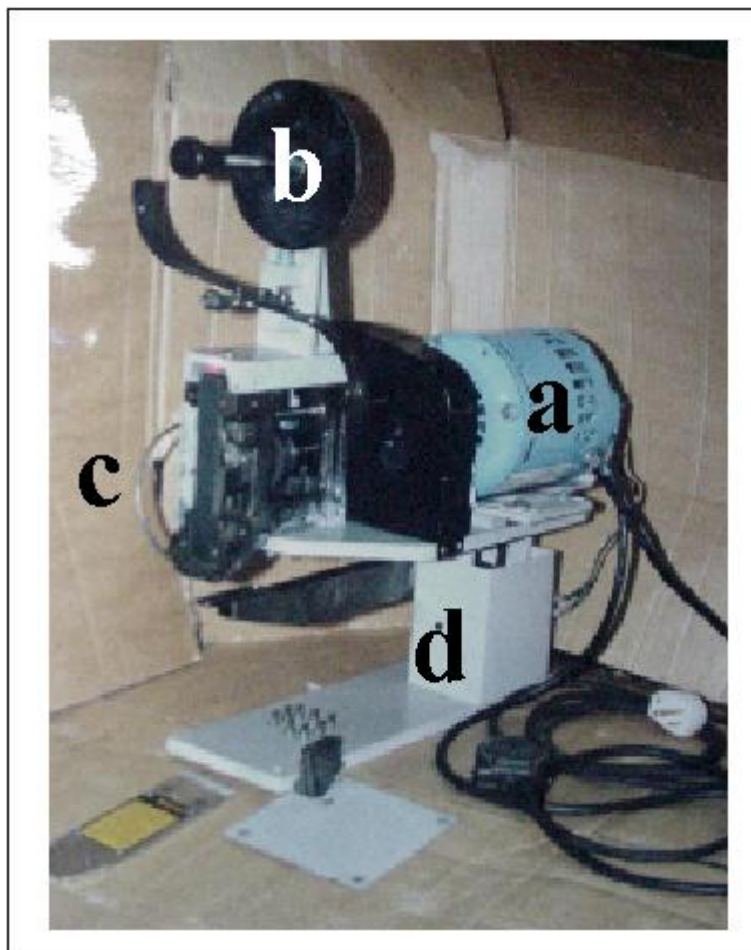


Fig. 5.2.a – Grampeadora e seus sub-conjuntos

O grampo utilizado tem as seguintes dimensões: 0,5 milímetros de espessura, 10 milímetros de largura e 6 milímetros de altura. São grampeados, em media, três grampos por cartela. Os objetivos do grampeamento são, tanto ligar o saco plástico que contém o produto e a cartela identificadora, quanto executar função de limite de encolhimento do saco plástico durante o processo de termo-encolhimento (executado em túneis de termo-encolhimento em fase subsequente na linha de embalagem). Veja Fig. 5.2.b para exemplo.



Fig.5.2.b - Embalagem e detalhe da área grampeada

### 5.3 Processo atual de reparo

Conforme tratado no item 2.3.2 desta dissertação, o processo de reparo subdivide-se em três fases distintas:

- **Tempo de evidenciação:** período que decorre entre o aparecimento da quebra e o seu descobrimento, normalmente evidenciado pelos operadores e comunicado pelos líderes da produção, através de ordem de serviço (OS), ao turnista de plantão da manutenção;
- **Tempo logístico:** período entre o recebimento da OS pela manutenção e a chegada da manutenção à máquina e início da intervenção, ou seja, tempo em que o turnista da manutenção precisa para finalizar outras intervenções, separar ferramental geral e, eventualmente, quando o

problema e sua causa são bem conhecidos, retirar as peças de reposição do estoque; e

- **Tempo ativo de manutenção:** período desde o diagnóstico preciso da causa até o momento em que a máquina é regulada e testada, visando seu retorno à produção, sendo a etapa que CBR será utilizado para auxiliar no diagnóstico, reduzindo tempo total de parada.

Atualmente as OS emitidas contém código do problema apresentado (ver Fig. 5.3.a). Através deste código é possível recuperá-lo no banco de dados para tratamento estatístico das quebras e geração de ações de melhoria, visando sua redução.

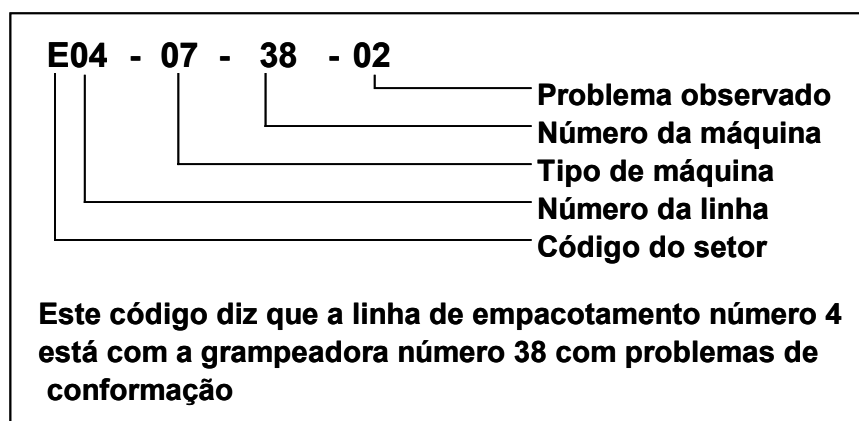


Fig. 5.3.a – Código do problema preenchido na OS

A Tab. 5.3.b mostra exemplos de codificação dos problemas e suas relações com cada máquina em particular. Estes problemas foram listados pelos especialistas da manutenção, baseado nas experiências passadas de quebras e seus diagnósticos.

Código do Setor	Nº da linha	Tipo Máquina	Nº Máquina	Problema Observado
"E"(Empacotamento)	A ser preenchido pelo líder quando requerido	01 (Rennco)	Nº que está afixado na máquina	01- Selagem
				02- Alimentação
				03- Pneumática
				04- Comando elétrico
				05- Trocas e ajustes
				06- Outros
"E"(Empacotamento)	A ser preenchido pelo líder quando requerido	07 (Grampeadora)	Nº que está afixado na máquina	01- Alimentação
				02- Conformação
				03- Comando elétrico
				04- Pneumática
				05- Trocas e ajustes
				06- Outros

Tab. 5.3.b – Exemplos de codificação

As OS com as codificações são arquivadas em pastas identificadas pelo nome das máquinas do setor. Como o sistema eletrônico para arquivamento está previsto para implementação em futuro próximo, análise estatística está sendo feita manualmente.

Mesmo com introdução de banco de dados via computador, tarefas diretamente ligadas ao reparo das quebras não poderiam usufruir as informações de forma prática e objetiva. Exigiria treinamento específico do funcionário da manutenção em programa de banco de dados e planilhas eletrônicas, o que tornaria a tarefa de recuperação de experiências anteriores impraticável. O resultado é que em boa parte das intervenções de reparo o especialista da manutenção começa o diagnóstico como se fosse a primeira vez. Isto causa perda de tempo, considerando que a área tem 64 grampeadoras.

Foi necessário buscar alternativas capazes de proporcionar um rápido acesso às experiências passadas e utilizá-las como ponto de partida para o diagnóstico da nova situação. Isto é abordado em detalhes na próxima seção.

#### ***5.4 Processo utilizado para definir os casos do repositório***

Um adequado sistema de manutenção, segundo JIPM (1995), deve levar em conta na definição das prioridades de implantação da manutenção planejada, a classificação da criticidade de cada equipamento para o adequado funcionamento de uma planta fabril. O apêndice 1 define a prioridade de um equipamento para a produção, e o classifica segundo influência sobre segurança, poluição, qualidade, tempo de trabalho e manutenção.

A decisão de implantar CBR para auxílio ao diagnóstico das quebras, ao invés de partir para a redução das quebras através de ações técnicas de melhoria (classificações “A” e “B”) , levou em conta a classificação “C” recebida (alguma influência sobre segurança, tempo de trabalho de 8 a 24 horas por dia, existe máquina reserva).

A primeira tarefa para a geração do protótipo foi definir os casos candidatos a partir do histórico de quebras e seus reparos. Planilha eletrônica foi gerada (no Excel) para compilar os dados de quebras e agrupá-los em blocos de problemas similares, de acordo com experiência dos especialistas.

Esta tarefa foi executada com base em pesquisa em todas OS's de seis meses nas 64 grampeadoras da área de empacotamento.

O processo para a geração de casos foi o seguinte:

1. todos os reparos executados foram classificados por similaridade e agrupados nos seguintes campos de diagnóstico (índices que permitem a recuperação):
  - a. grampo não conforma;
  - b. dificuldade de acionamento do pedal;
  - c. não grampeia;
  - d. grampeamento insuficiente;
  - e. máquina não funciona;
  - f. grampeamento intermitente; e
  - g. ruído.
2. todas as OS's de todas as máquinas foram comparadas com estes agrupamentos, a fim de verificar a existência de ocorrências que pudessem não ter afinidade com o agrupamento;
3. a partir dos agrupamentos (item 1 acima) e OS's componentes foram definidas as causas relevantes (casos). Isto exigiu a coleta e processamento estatístico das ocorrências nas OS's, junto com a participação ativa dos especialistas, classificando e imputando possíveis causas para cada grupo. Por exemplo, algumas causas ou



casos gerados para o agrupamento **grampeamento insuficiente** são:

- a. desgaste na tensão do carretel;
  - b. desgaste do eixo de transporte do arame; e
  - c. desgaste da trava do arame.
4. todos os tempos envolvidos nas OS's de cada agrupamento foram contabilizados, visando definir o grau de importância de cada caso de determinado grupo. Por exemplo, o grupo **grampeamento insuficiente**, cujos casos estão listados acima, recebeu a seguinte ordem de importância (relação com a frequência em que um problema ocorre em relação aos demais, do total de 100% das causas) :
- a. **50** para o item *desgaste na tensão do carretel*;
  - b. **40** para o item *desgaste do eixo de transporte do arame*; e
  - c. **10** para o item *desgaste da trava do arame*.
5. finalmente, foram definidas as intervenções corretivas para cada caso, levando em consideração as intervenções relatadas nas OS's e experiências dos especialistas, no caso de um reparo não parecer lógico.

A análise dos reparos efetuados que é registrado nas OS's foi muito importante, pois detectou ações erroneamente tomadas para a solução de determinadas quebras. Isto se comprovou pelo registro de quebras seqüenciais em um mesmo componente em espaços de tempo de pouco mais de uma hora, em média.

Foi então usada heurística para “limpar” casos que poderiam “contaminar” o repositório. Além disso, os casos selecionados passaram pela análise dos turnistas e do supervisor da manutenção, onde ficou comprovado o acerto nos

casos classificados como significativos. Foram classificados 33 casos seguindo estes procedimentos.

Na tabela 5.4 se pode verificar o resultado final deste processo de coleta, análise, classificação e filtragem dos casos de quebras e seus diagnósticos.

## **5.5 CBR Content Navigator**

Esta seção apresenta, resumidamente, os passos seguidos para a inserção de casos listados na tabela 5.4, no programa CBR Content Navigator, visando criação de banco de casos.

Para detalhes dos programas utilizados veja o apêndice 2, que aprofunda a análise dos programas de criação (CBR Express Professional Author) e uso de banco de casos (CasePoint Professional) da Inference Corporation. Também pode ser consultado o tutorial que acompanha o CBR Content Navigator (CCN) para obter detalhamento completo sobre o funcionamento das ferramentas para desenvolvimento e utilização de CBR disponibilizados pela Inference Corporation. A cópia do CNN usada neste trabalho tem licença para uso acadêmico.

### **5.5.1 Inserção de dados**

Os casos foram mapeados e inseridos em planilha eletrônica de fácil compreensão. Com isso, a tarefa de inserção dos casos no repositório, via o programa CBR Express Professional Author, ficou simplificada.

Foi necessário estudo prévio da arquitetura da base de casos no tutorial do CBR Content Navigator para compreensão do "modus operandi" dos programas envolvidos. Deste estudo foi escolhida a arquitetura de **Camadas de Decisão**, cujos aspectos gerais desta arquitetura são:

- utilização de sistema de pastas para reunir casos relacionados a um de-terminado grupo. Por exemplo, vide tabela 5.4, o grupo *1.Grampo não Conforma* é definido como uma pasta que contém todos os casos de 1.1 a 1.6; e

- aplicação de perguntas de contexto para subdividir a base de casos e estabelecer contexto, o que permite que o caso mais adequado seja selecionado respondendo perguntas de confirmação.

DIAGNÓSTICO (GRUPOS)	CAUSAS		INTERVENÇÃO CORRETIVA
	GRAU-%		
1. Grampo não conforma	10	1.1 Desajuste na tensão do carretel	Gira-se com a mão e se trancado diminui-se a tensão molas
	30	1.2 Quebra do batente conformador	Substitui-se por peça nova
	30	1.3 Desgaste da trava arame	Substitui-se por peça nova
	5	1.4 Deformação da matriz	Substitui-se por peça nova
	20	1.5 Desgaste do eixo de transporte do arame	Substitui-se por peça nova
	5	1.6 Afrouxamento do parafuso do eletroimã	Desmonta-se o compartimento do eletroimã coloca-se trava química e reaperta-se o parafuso
2. Dificuldade de acionamento do pedal	50	2.1 Quebra do parafuso do eletroimã	Desmonta-se o compartimento do eletroimã coloca-se trava química e substitui-se o parafuso
	30	2.2 Quebra do microrrotor do pedal	Substitui-se por peça nova
	20	2.3 Quebra do parafuso da engrenagem	Verifica-se se não há sobrecarga no sistema e substitui-se por novo
3. Não grampeia	40	3.1 Quebra do parafuso do eletroimã	Desmonta-se o compartimento do eletroimã e substitui-se os parafusos
	20	3.2 Quebra do parafuso da engrenagem	Verifica-se se não há sobrecarga no sistema e substitui-se por novo
	5	3.3 Quebra do microrrotor do pedal	Substitui-se por peça nova
	10	3.4 Afrouxamento parafuso do eletroimã	Desmonta-se o compartimento do eletroimã coloca-se trava química e reaperta-se o parafuso
	10	3.5 Desgaste do eixo de transporte arame	Substitui-se por peça nova
	15	3.6 Afrouxamento do parafuso do pedal	Coloca-se trava química e reaperta-se o parafuso
4. Grampeamento insuficiente	50	4.1 Desajuste na tensão do carretel	Gira-se com a mão e se trancado diminui-se a tensão de molas
	40	4.2 Desgaste do eixo de transporte arame	Substitui-se por peça nova
	10	4.3 Desgaste da trava arame	Substitui-se por peça nova
5. Máquina não funciona	50	5.1 Mal contato plug	Substitui-se por peça nova
	20	5.2 Tomada com folga	Substitui-se por peça nova
	10	5.3 Relé de sobrecarga desarmado	Verifica-se se sobrecargas no sistema e elimina-se a causa
	5	5.4 Quebra interruptor liga-desliga	Substitui-se por peça nova
	5	5.5 Queima do motor	Substitui-se por peça nova
	10	5.6 Desgaste dos rolamentos	Substitui-se por peça nova
6. Grampeamento intermitente	40	6.1 Mal contato plug	Substitui-se por peça nova
	15	6.2 Tomada com folga	Substitui-se por peça nova
	5	6.3 Afrouxamento parafuso do eletroimã	Desmonta-se o compartimento do eletroimã e coloca-se trava química reaperta os parafusos
	20	6.4 Desgaste do eixo de transporte arame	Substitui-se por peça nova
	10	6.5 Desgaste da trava arame	Substitui-se por peça nova
	5	6.6 Quebra do parafuso da engrenagem	Coloca-se trava química e substitui-se o parafuso
	5	6.7 Afrouxamento do parafuso do pedal	Coloca-se trava química e reaperta-se o parafuso
7. Ruído	60	7.1 Desgaste dos rolamentos	Substitui-se por peça nova
	40	7.2 Excesso de sujidades	Desmonta-se a máquina, lava-se as peças com sabão - <i>Capitan Clean</i> - seca-se, lubrifica-se e remonta-se

Tab. 5.4 – Casos de quebras e intervenções de grampeadora de embalagens

No CBR Express Professional Author as pastas foram criadas para cada um dos grupos (de 1 a 7) da tabela 5.4. Veja Figuras 5.5.1.a. e 5.5.1.b.

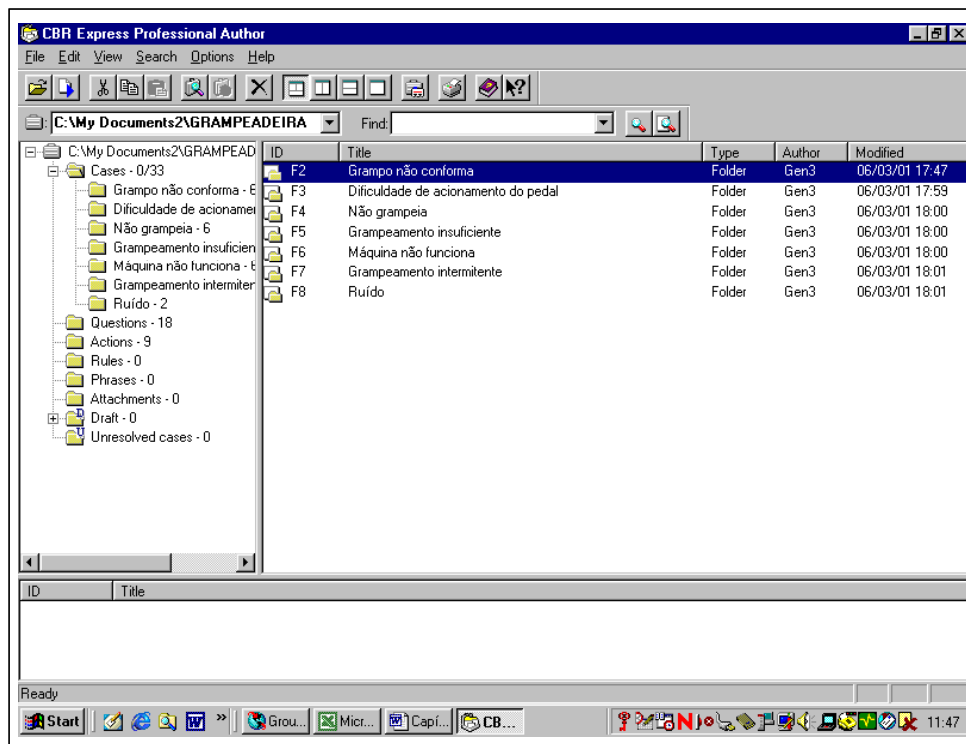


Fig. 5.5.1.a – Inserção dos grupos no CBR Express Professional Author™ I

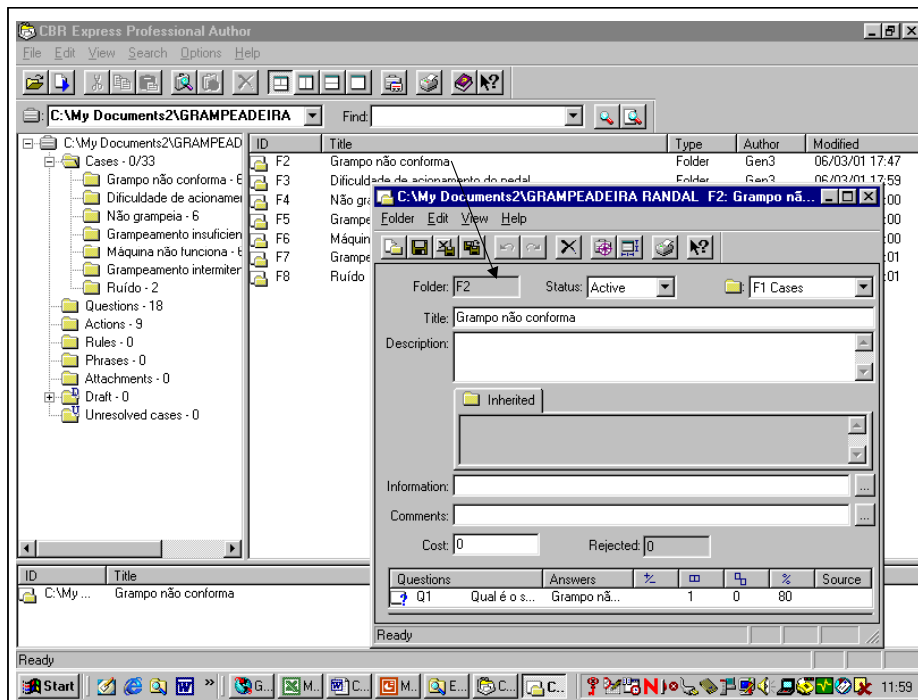


Fig. 5.5.1.b – Inserção dos grupos no CBR Express Professional Author™ II

Para cada agrupamento de problemas foram inseridos os casos relacionados. São os sub-itens 1.1 a 7.2 da tabela 5.4. Veja Fig. 5.5.1.c.

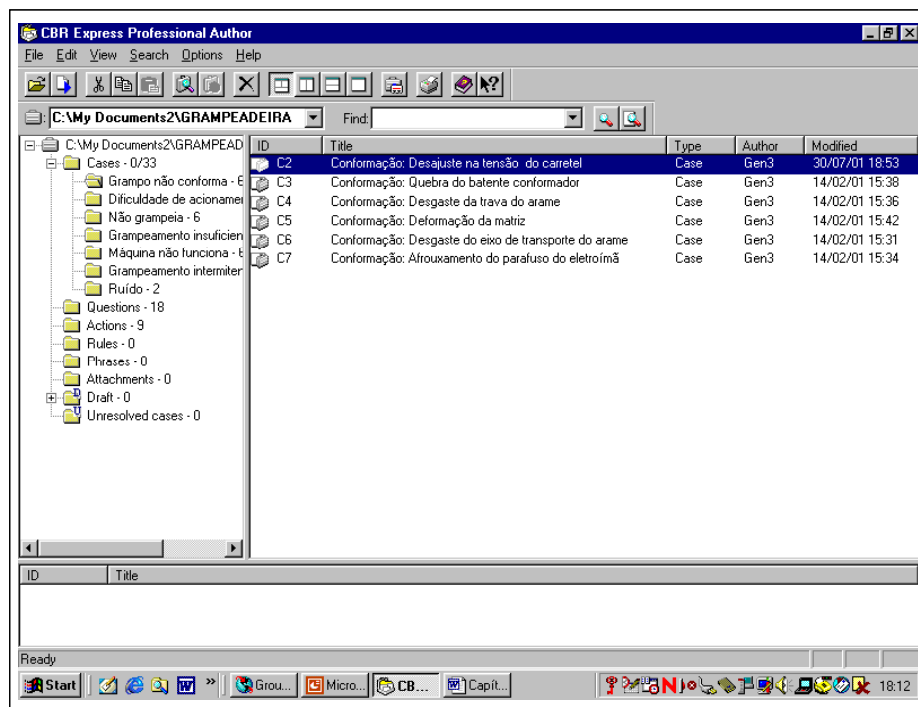


Fig. 5.5.1.c – Casos relacionados ao grupo *Grampo não Conformação*

Questões de confirmação (resposta é *Sim* ou *Não*) foram inseridas para cada caso na estrutura do repositório, a fim de permitir redução das opções durante a procura de um caso no repositório que seja semelhante ao problema atual.

Este processo permite direcionar para uma causa mais provável da quebra. As questões obrigam o usuário a decidir entre opções, até chegar àquela mais próxima em termos de semelhança.

Além disso, são adicionadas as soluções ou intervenções corretivas para cada caso no campo “Actions”. Uma ação é uma solução proposta pelo CBR para um determinado caso. Neste trabalho existem várias ações que são divididas por vários casos. Veja a Fig. 5.5.1.d.

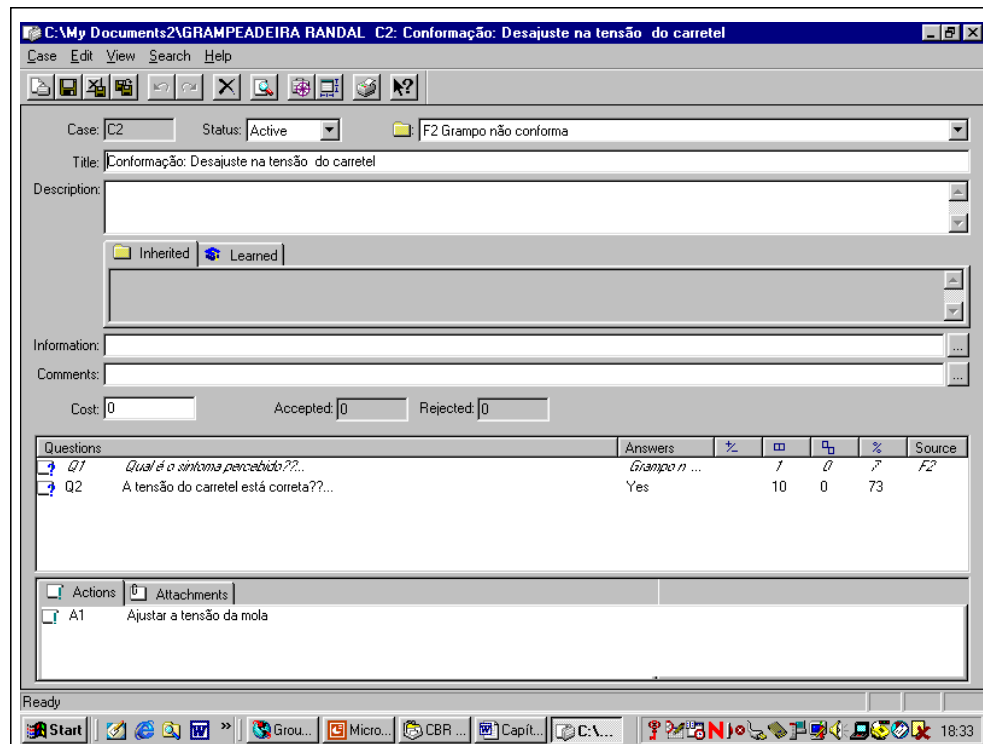


Fig. 5.5.1.d – Perguntas de confirmação e a ação relacionadas a um caso

### 5.5.2 Mecanismo de busca de casos no repositório

A seção anterior abordou a ferramenta CBR sob a ótica do desenvolvimento e criação do banco de casos. É onde foi criado o repositório de casos de quebras da grampeadora de embalagens em questão.

Esta seção descreve a interface com usuário final, ou seja, o mecanismo de busca. Nele o supervisor ou o turnista de manutenção, de forma amigável, interagem com o sistema, respondendo as questões de confirmação que são feitas pelo protótipo. Este processo está baseado no repositório previamente criado no CBR Express Professional Author.

Tudo tem início com uma pergunta genérica: “**Qual o sintoma percebido?**”, que deve ser respondida utilizando-se a lista de respostas, (ou “**answer list**”) apresentada na Fig. 5.5.2.a.

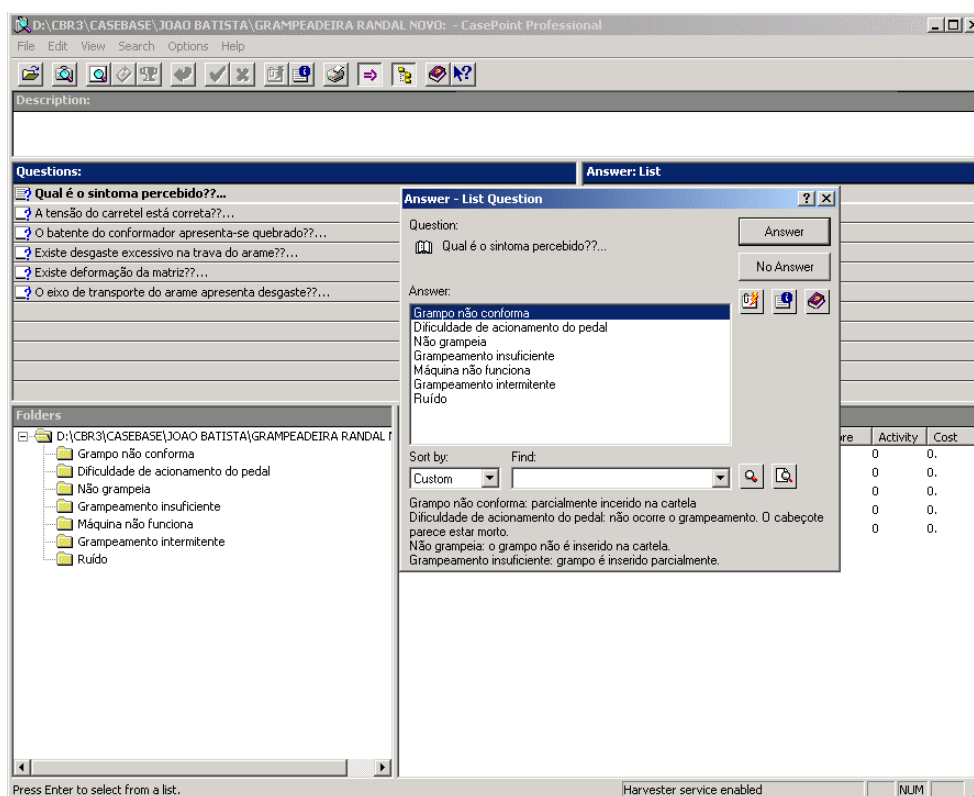


Fig. 5.5.2.a – Tela do CasePoint Professional™ – pergunta inicial

A pergunta inicial é formulada para que o usuário opte pelas várias possibilidades de problemas presentes no repositório. Após a escolha, começam as perguntas de confirmação (Sim/Não), que vão estreitando a procura para casos que digam respeito ao problema em questão, conforme apresentado na figura 5.5.2.b.

As perguntas foram formuladas visando eliminar gradativamente os casos ou causas que não tenham relação com o problema, até que o usuário encontre o caso certo, conforme exemplo ilustrativo na figura 5.5.2.c.

A partir deste ponto, no campo “**Search Results by Case**”, o usuário, para o caso classificado com a maior pontuação, verifica a ação executada no caso similar ao atual, que resolveu o problema de quebra (figura 5.5.2.d).

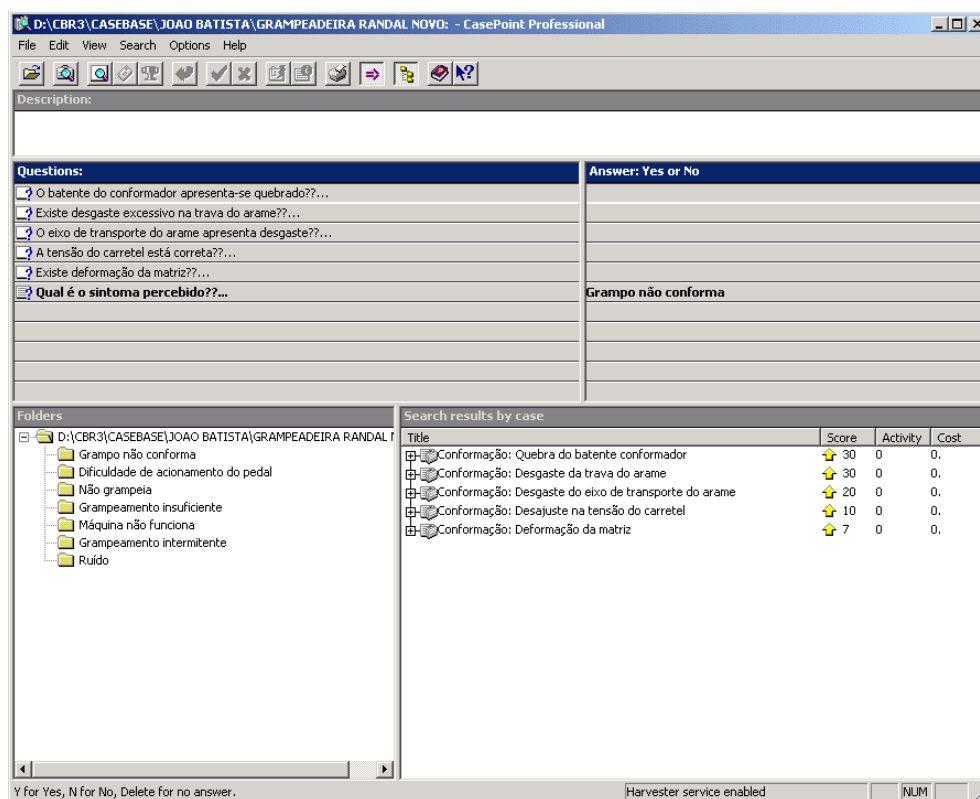


Fig. 5.5.2.b – Telas de perguntas de confirmação



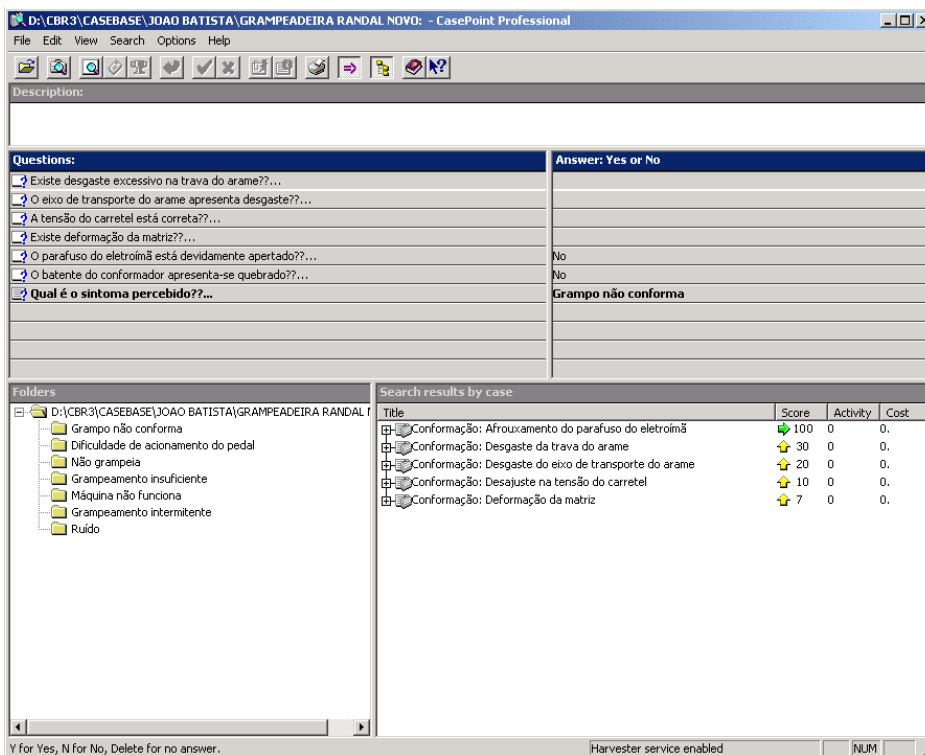


Fig. 5.5.2.c – Exemplo de causa – “Afrouxamento parafuso do eletroímã”

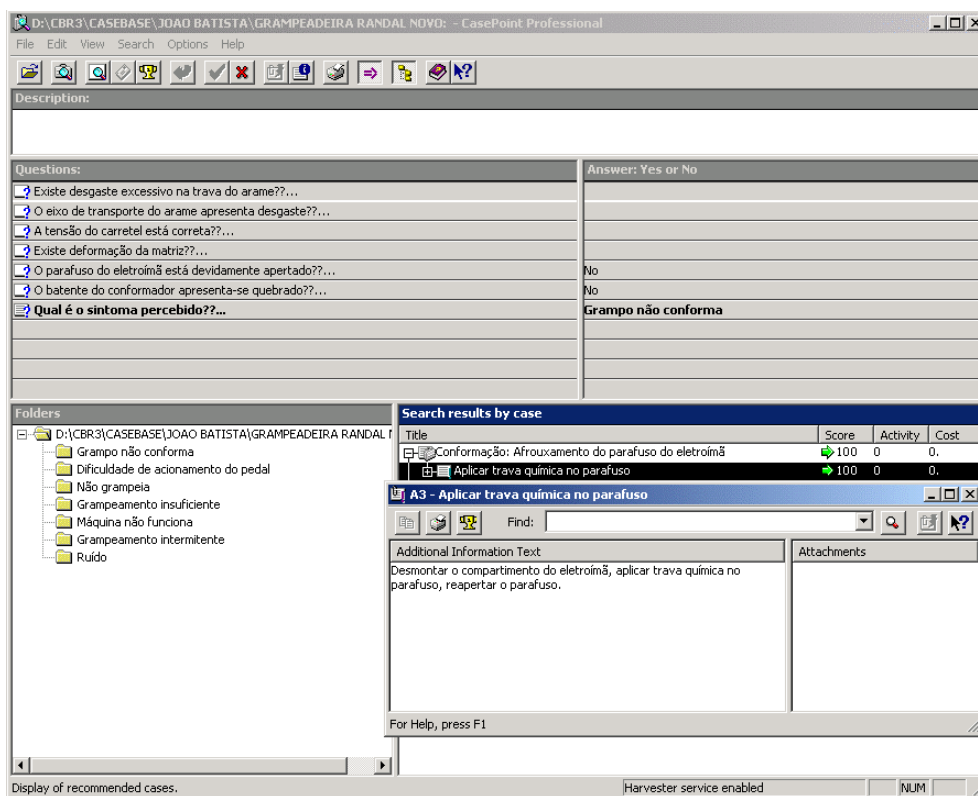


Fig. 5.5.2.d – Exemplo de ação para a causa da figura 5.5.2.c

O especialista, de posse desta informação, verifica se a solução encontrada realmente serve para o problema atual e, em caso positivo, executa o reparo conforme indicado no sistema. Se serve parcialmente, faz adaptações. Se não serve, e não existe similar na base do sistema, este novo caso pode ser integrado ao repositório para uso futuro (também é válido no caso de adaptação).

Este protótipo foi testado e obteve aprovação preliminar dos turnistas e supervisor de manutenção da área. Os tempos para o diagnóstico foram reduzidos em 50% em média, e o sistema também foi usado para treinamento de turnistas novatos, com conseqüente minimização dos custos envolvidos.

Para que uma certificação definitiva seja obtida, será necessário instalar um computador dedicado na área de empacotamento, bem como a empresa adquirir uma cópia do programa da Inference Corporation.

## **5.6 Síntese do capítulo**

Este capítulo descreve o desenvolvimento de aplicação prática de CBR como auxiliar ao especialista da manutenção na recuperação e uso de experiências passadas de quebras, para o conserto de máquina grampeadora de embalagens da área de empacotamento da Pet Products Artefatos de Couro Ltda. São descritas as características, os conjuntos integrantes e o tipo de trabalho que é executado por esta máquina.

Os dados históricos de quebras coletados estão classificados de acordo com códigos de defeitos atualmente em uso pela área de produção e manutenção, servindo como ponto de partida para a seleção dos casos significativos.

O sistema atual de arquivamento de ocorrências de quebra, na prática, não oferece acesso rápido às experiências passadas de problemas e soluções, e isto gera, pela quantidade de máquinas em operação (64), perda de tempo que por vezes compromete os objetivos de produção. Visando minimizar estas perdas foi desenvolvida aplicação do programa CBR Content Navigator. Ele auxilia na manutenção de um banco de experiências (casos) e na sua recuperação, de forma amigável ao usuário final.

As informações históricas foram compiladas e organizadas por grupos de defeitos. Para cada grupo foram definidas causas e soluções. Cada causa (caso) recebeu um peso de acordo com sua contribuição histórica nas perdas de tempo por reparo.

Além disso, foi feita pelos especialistas, uma “limpeza” dos casos que poderiam “contaminar” o repositório. Tudo foi finalmente revisado e aprovado pelos turnistas e supervisor de manutenção.

Uma planilha eletrônica foi gerada para compilar todos os grupos de problemas e seus casos, sendo utilizada como base para a inserção dos casos no CBR Content Navigator.

Este repositório foi testado e aprovado preliminarmente pelos especialistas, através de simulações de busca e comparação com novas situações de quebra, onde ficou evidente a redução dos tempos de diagnóstico e de treinamento de novatos.

Uma certificação definitiva do sistema exigirá testes exaustivos de campo. Para tanto terão que ser adquiridos um computador dedicado na área e cópia licenciada do programa da Inference Corporation, pois a utilizada é liberada pelo fabricante somente para trabalhos acadêmicos.

## **6 Conclusões**

### **6.1 Introdução**

Capítulo 1 descreve objetivo, metodologia e organização deste trabalho. O capítulo 2 aborda a metodologia TPM e em que situações CBR pode auxiliar na redução do tempo de parada por defeito na máquina. Os capítulos 3 e 4 fornecem a base teórica e prática de CBR, servindo como introdução ao estudo de caso tratado no capítulo 5.

Este capítulo encerra a dissertação, avaliando as atividades descritas neste trabalho no que tange: (i) as vantagens da utilização de um mecanismo (CBR) de auxílio por computador para agilizar o diagnóstico da causa de quebras e suas soluções, e (ii) aumento da confiabilidade e qualidade desta análise, em função de considerar as experiências passadas quando da busca de soluções para problemas recorrentes.

Também apresenta as dificuldades de implantação e indicações para futuros desenvolvimentos práticos do uso de CBR.

## 6.2 Revisão

Um exemplo conceitual de aplicação de inteligência artificial é proposto nesta dissertação para auxiliar especialistas de manutenção durante o processo de diagnóstico de causas de quebras de máquinas. Este exemplo utiliza “Case-Based Reasoning” (CBR) como uma técnica para o armazenamento de um banco de casos pregressos de quebras, bem como fornece o mecanismo de recuperação e reuso destas experiências. O pacote de ferramentas CBR Content Navigator, versão 3.2 fornecido pela Inference Corporation foi utilizado como: (i) gerador do banco de casos, (ii) mecanismo de recuperação de casos passados do banco de casos, e (iii) indexador para a recuperação de casos.

O estudo de caso apresentado no capítulo 5 desenvolve uma aplicação de CBR no auxílio ao diagnóstico de quebras de uma grampeadora de cartelas em sacos plásticos em uma fábrica de ossos artificiais para consumo canino. São utilizados os registros históricos de falhas e reparos executados, bem como a experiência dos especialistas na geração do banco de casos. As informações históricas foram estruturadas por grupos de defeitos, sendo que para cada grupo foram definidas causas e soluções.

Este repositório foi testado e aprovado preliminarmente pelos especialistas da manutenção, requerendo testes mais detalhados não somente com o equipamento em questão, mas também com as demais máquinas do departamento.

Através deste trabalho se procura familiarizar os gestores de processos produtivos com ferramenta que aumenta a precisão e qualidade dos diagnósticos, com conseqüente redução de seus tempos. Não se descarta a possibilidade de redução dos custos com treinamento de novatos, pois a ferramenta funciona como um armazenador da história de quebras e soluções de uma determinada máquina, cujo acesso é simples, requerendo somente a resposta de questões pré-formuladas que direcionam para a solução mais adequada.

Em resumo, pode-se supor, baseado na experiência do autor referente, que com a utilização generalizada de CBR como tecnologia auxiliar ao especialista de manutenção se poderia obter os seguintes resultados:

- reduzir os tempos médios de parada (MDT – “Mean Dow Time”) em 50%, através da redução dos tempos de diagnóstico das causas, da maior precisão na identificação das causas, associado à indicação do procedimento padrão para a execução do reparo;
- integrar as áreas de produção e manutenção no processo de diagnóstico da falha, onde o operador participa na geração do banco de casos, bem como, durante o uso do sistema, nas fases iniciais do diagnóstico da falha;
- preservar o conhecimento da companhia, permitindo seu uso em situações presentes ou futuras, eliminando perdas de tempo para o diagnóstico da quebra;
- minimizar os custos de treinamento dos novos manutentores em função do mecanismo de diagnóstico (CBR) ser de fácil utilização e conter em seu banco de informações as experiências históricas de ocorrências;
- gerar informações a serem utilizadas na aquisição de máquinas e equipamentos novos similares aos existentes na empresa, livres de manutenção.

### **6.3 Conclusões**

As principais vantagens potenciais a serem obtidas com o uso de CBR na manutenção planejada e corretiva de máquinas, equipamentos e instalações, são o aumento da confiabilidade e a rapidez no processo de diagnóstico e reparo das falhas. Isto é proporcionado pela compilação dos conhecimentos da empresa no que tange ao histórico de manutenção, permitindo que mesmo profissionais em fase formativa atinjam resultados satisfatórios na sua rotina.

O protótipo de CBR desenvolvido otimiza planos de manutenção preventiva e de melhorias na confiabilidade das instalações em geral, podendo ser utilizado como compilador e difusor das experiências obtidas pela empresa em suas quebras de máquina.

Outro benefício importante está ligado, em função das características citadas no parágrafo anterior, a especificação de novos equipamentos similares aos existentes livres de manutenção.

As principais dificuldades na implantação do sistema são a precisão exigida na coleta e classificação dos casos e a necessidade de envolvimento dos especialistas de cada setor nesta compilação, bem como os pesos (importâncias) a serem definidos para cada conjunto de falhas e suas respectivas correções, para um determinado problema. O grau de precisão destes passos definirá o correto inter-relacionamento entre os problemas atuais e aqueles casos do banco de casos.

Testes adicionais são necessários para a comprovação da correção das respostas do sistema quando solicitado a auxiliar na solução de falhas novas pela adaptação de soluções previamente identificadas.

#### **6.4 Futuros desenvolvimentos**

O autor identificou cinco áreas ou atividades da empresa onde a utilização da tecnologia CBR poderia auxiliar na melhoria geral de seus resultados:

- sistemática de aquisição de novos equipamentos livres de manutenção;
- sistemática de compra de peças de reposição, levando em conta, na seleção do fornecedor, o histórico de confiabilidade e tempo de vida da peça ou componente;
- associação do CBR da manutenção corretiva com banco de casos dos procedimentos de reparos (visuais);
- planejamento da produção, através da seleção dos roteiros mais adequados ao produto em questão; e
- treinamento para a utilização de programas aplicados ao CBR em rotinas diversas de chão-de-fábrica.

## **APÊNDICE 1 – Classificação ABC de máquinas**



Em um sistema de manutenção planejada a classificação das máquinas e equipamentos desempenha papel fundamental na definição de prioridades de manutenção.

Atividades de manutenção preventiva, melhoria e de prevenção da manutenção são dispendiosas, devendo ser executadas somente quando o grau de criticidade de um equipamento ou máquina é tal que os custos envolvidos compensem a interrupção de funcionamento.

Para tanto, o Japan Institute for Plant Maintenance (JIPM) (1995) ou Instituto Japonês para Manutenção de Fábricas, define o fluxograma a seguir como instrumento de classificação ABC, onde A tem prioridade alta e C baixa. Esta deve ser adotada em qualquer tipo de processo, visando estabelecer as prioridades iniciais de atuação na manutenção.

		<b>Classe</b>		
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>S</b>	Segurança	Forte influência	Qualquer influência	Nenhuma influência
<b>Q</b>	Qualidade	Influência significativa	Qualquer influência	Nenhuma influência
<b>W</b>	Tempo de trabalho	24 horas/dia	8-24 horas /dia	8 horas/dia
<b>D</b>	Quebras	Perdas por quebra > das outras linhas	Perdas por quebra > daquelas máquinas anteriores e posteriores	Máquina reserva ou fácil de consertar
<b>F</b>	Freqüência	De três quebras por mês a uma cada dois meses	De uma quebra cada dois meses a uma cada seis meses	Menos de uma quebra cada seis meses
<b>M</b>	Manutenibilidade	MTTR > 4 horas Custo > US\$ 1.5 mil	MTTR 1 ~ 4 horas Custo > US\$ 0.5 ~ 1.5 mil	MTTR < 1 hora Custo < US\$ 0.5 mil

Tab. A1.1 – Classificação ABC das máquinas I

Para executar a classificação deve ser utilizada a tabela A1.1, associada ao fluxograma da figura A1.2, a seguir.

Esta classificação indica se é interessante incluir a máquina em questão na sistemática de manutenção programada (A, B), ou se deve ser mantida como manutenção por quebra (C).



## **APÊNDICE 2 – Ferramentas CBR**

Este apêndice está baseado no tutorial eletrônico fornecido pela Inference Corporation que acompanha o pacote de ferramentas do CBR Content Navigator, versão 3.2. Apresenta descrição sucinta das ferramentas para a criação e recuperação de casos no repositório do sistema CBR e permite ao leitor avaliação do sistema para futura utilização em sua área de trabalho.

CasePoint Professional e CBR Express Professional Author são as ferramentas descritas neste apêndice. Suas aplicações são, respectivamente, mecanismo de recuperação, criação e manutenção do banco de casos. A primeira é responsável pela interface com o usuário final. A segunda é utilizada pelo desenvolvedor do sistema como ferramenta de criação e manutenção.

## ***A2.1 - CasePoint Professional***

CasePoint Professional permite a busca na base de casos pela alternativa interesse do usuário.

Através de refinamento interativo o usuário é auxiliado na procura da solução mais adequada, mesmo quando ele não tem idéia como proceder.

Inicialmente a ferramenta CasePoint Professional coleta a descrição do usuário em suas próprias palavras, vide Fig. A2.1.a. O quadro descrição aceita qualquer texto que o usuário digite. Não existem palavras-chave para memorizar nem sintaxe a ser conhecida. Ortografia correta não é importante. Quando o usuário termina a digitação da descrição e pressiona a tecla “enter”, o CasePoint Professional inicia com a apresentação de uma seqüência de perguntas a ser respondida pelo usuário, tal como apresentado na Fig A2.1.b.

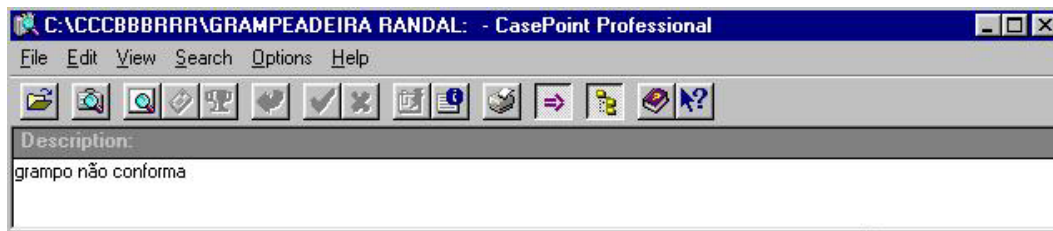


Fig. A2.1.a – Digitação da descrição

O usuário final não precisa ser treinado no processo de procura. CasePoint Professional pode começar com entrada não estruturada e usar uma estratégia interrogativa que auxilia a localizar o caso certo.

As perguntas associadas com um caso aparecem no campo de “Question/Answer”. O usuário pode responder uma ou todas as perguntas e procurar novamente. CasePoint Professional, iterativamente, extrai informações cada vez mais específicas, guiando o usuário para casos apropriados às suas respostas. Se as perguntas aparecem com respostas vermelhas, significa que a base de caso tem regras que lêem a descrição e fornecem algumas das respostas para o usuário, tal como apresentado na Fig. A2.1.b.

Questions:	Answer: List
<input type="checkbox"/> Qual é o sintoma percebido??...	
<input type="checkbox"/> A tensão do carretel está correta??...	
<input type="checkbox"/> O batente do conformador apresenta-se quebrado??...	Yes
<input type="checkbox"/> Existe deformação da matriz??...	No
<input type="checkbox"/> O eixo de transporte do arame apresenta desgaste??...	No
<input type="checkbox"/> Existe desgaste excessivo na trava do arame??...	No

Fig. A2.1.b – Área de perguntas e repostas

Na medida que o usuário responde as perguntas e continua procurando, CasePoint Professional foca os resultados da procura até que um ou mais casos comecem a parecer como boas soluções. Uma solução boa, tipicamente, tem uma contagem numérica alta, e pode ser realçado até mesmo por um ícone especial, tal como na Fig. A2.1.c.

Title	Score	Activity	Cost
Conformação: Quebra do batente conformador	91	0	0.
Conformação: Desgaste da trava do arame	13	0	0.
Conformação: Desgaste do eixo de transporte do ar	13	0	0.
Conformação: Desajuste na tensão do carretel	11	0	0.
Conformação: Deformação da matriz	11	0	0.

Harvester service enabled

Fig. A2.1.c – Resultados da procura

### ***Características especiais das descrições de procura***

O campo de descrição de procura suporta características que permitem ao usuário construir uma base de casos poderosa e dinâmica, que o auxilia a localizar os casos certos.

### ***Substituições de sinônimo focalizam conteúdo***

O usuário pode não usar a mesma terminologia que o autor usou. Substituição contorna o espaço entre o vocabulário do usuário final e o vocabulário do perito que definiu os casos.

Um manutentor que fala em “fim-de-curso” em uma garmpeadora de cartelas pode estar falando sobre “batente”. Pode-se ensinar ao CasePoint Professional que “fim-de-curso” significa “batente”, tal como na Fig. A2.1.d.

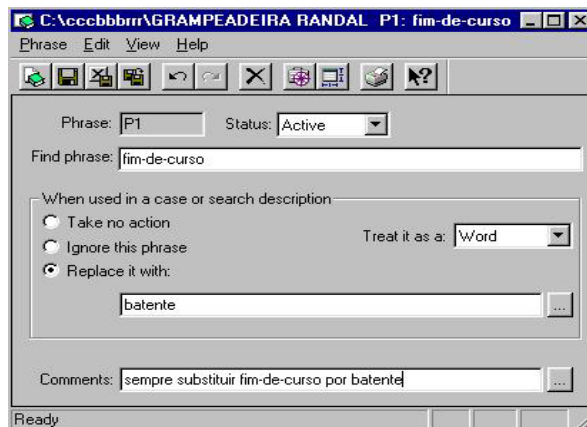


Fig. A2.1.d – Uso de sinônimos

Pode ser criado um conjunto de sinônimos no Editor de Frases (Phrase Editor). O Editor de Frases executa operações de procura e substituição nas descrições de casos (antes da indexação) e nas descrições de procura do CasePoint Professional (antes de pontuar uma procura). Isto assegura que todas referências a “fim-de-curso” sejam indexadas e pontuadas como se o usuário tivesse digitado “batente”. CasePoint Professional pode substituir frases, assim como palavras individuais.

### ***Ignorando palavras comuns melhora a comparação***

Algumas palavras serão encontradas em qualquer descrição de caso grande. Estas palavras comuns podem confundir a comparação da descrição com o banco de casos, porque elas são achadas em muitos casos sem conexão. Usando o Editor de Frase, o CasePoint Professional pode ser ajustado para ignorar palavras e frases comuns.

Na versão inglesa de Professional de CasePoint, 116 palavras comuns padrões são ignoradas. A lista de palavras ignoradas pode ser editada no Editor de Frase.

### ***Ignorando sufixos melhora a comparação***

A pontuação de caráter da descrição de procura compara em fragmentos de palavra, e não em palavras inteiras.

Muitos sufixos de palavras são amplamente representados por diversos casos dissimilares. Por exemplo, grampeando, conformando e acionando não são assuntos semelhantes só porque todos terminam em “ndo”. O Editor de Frase permite remover “ndo” do índice de comparação, ignorando-o em todos lugares que ele aparece. Também permite ignorar, ou substitui um sinônimo por prefixos, prefixos de palavras e fragmentos no meio da palavra.

### ***Regras podem responder perguntas automaticamente***

Podem ser definidas regras que conferem a descrição para frases comuns que insinuam a resposta a uma ou mais perguntas. A regra então responde a pergunta automaticamente, economizando o tempo e esforço do usuário.

Em algumas bases de casos, regras podem responder quase todas as perguntas de uma boa descrição de procura, o que remete o usuário da descrição inicial para uma solução em um passo.

### ***Perguntas do CasePoint Professional (CPP)***

A lista de perguntas no CPP é montada a partir da combinação de casos. As perguntas mais importantes estão no topo da lista. Geralmente, os usuários deveriam responder as perguntas de cima para abaixo, mas o CPP permite responder em qualquer ordem.

O CPP oferece cinco tipos de perguntas, mas alguns tipos podem ser usados em mais de um modo. Tipos de perguntas são classificados de acordo como são respondidas:

- Sim/Não (Yes/No)
- Lista (List)
- Numérico (Numeric)
- Texto (Text)
- Característica (Feature)

Todas as perguntas são de contexto ou de confirmação.

Uma pergunta de contexto ajuda o usuário achar a pasta (folder) correta na base de casos. É tipicamente uma pergunta de lista onde as respostas representam braços da estrutura de pasta. Normalmente é encontrado em definições de pasta, e é herdado por todos os casos dependentes pertencentes daquela pasta. Um exemplo de uma pergunta de contexto é, “Qual é o sintoma



percebido?” O usuário escolhe de uma lista de respostas que representam as pastas da base de casos. De acordo com a Fig. A2.1.e.

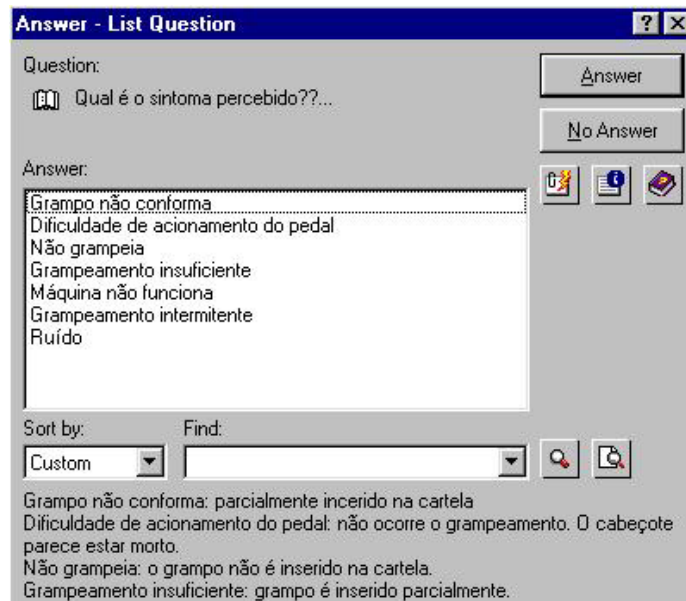


Fig. A2.1.e – Lista de opções de casos

Uma pergunta de confirmação ajuda o usuário a escolher entre casos dentro de uma pasta. Tipicamente, é respondido Sim para caso meta e Não para os casos semelhantes na mesma pasta. Uma pergunta de confirmação normalmente não é encontrada em uma definição de pasta, mas na definição do caso meta. Um exemplo de uma pergunta de confirmação é, “A tensão do carretel está correta?”, tal como apresentado na Fig. A2.1.f.

Depois de procurar a base de casos algumas vezes, o usuário fica familiarizado com as perguntas de contexto de alto-nível que o guiam para a parte certa da base de casos. Porém, as perguntas de confirmação mudam conforme a procura se processa. Em uma procura nova, é provável que o usuário encontre uma pergunta de confirmação que ele nunca viu antes.

Questions:	Answer: Yes or
<input type="checkbox"/> Existe desgaste excessivo na trava do arame??...	
<input type="checkbox"/> Existe deformação da matriz??...	
<input type="checkbox"/> O batente do conformador apresenta-se quebrado??...	Yes
<input type="checkbox"/> A tensão do carretel está correta??...	No
<input type="checkbox"/> Qual é o sintoma percebido??...	Grupo não confor

Fig. A2.1.f – Perguntas de confirmação

Com perguntas numéricas se obtém combinações exatas ou dentro de certa faixa. Por exemplo, uma combinação exata recuperaria filmes feitos em 1967. Uma faixa permitiria ao usuário pedir por filmes feitos entre 1950 e 1959.

Também podem ser definidas faixas como critérios de combinação. Por exemplo, pode-se criar um caso que representa um adolescente, talvez como um paciente médico. Você pode definir a idade de combinação para ser qualquer número entre 13 e 19. Se o usuário digitar qualquer número nesta faixa, o caso adquirirá crédito completo para esta combinação.

Perguntas de características são normalmente um conjunto de palavras unitárias e frases curtas apresentadas ao usuário como uma paleta de opções. O usuário clica o mouse na pergunta de característica de interesse para selecioná-las, tal como apresentado na Fig. A2.1.g.

Se uma pergunta de lista em uma base de casos pudesse ter milhares de respostas (por exemplo, “Quem é seu ator favorito?”), deve ser feita para cada resposta uma pergunta de característica, permitindo ao CPP administrar a lista, apresentando somente algumas opções apropriadas de cada vez.

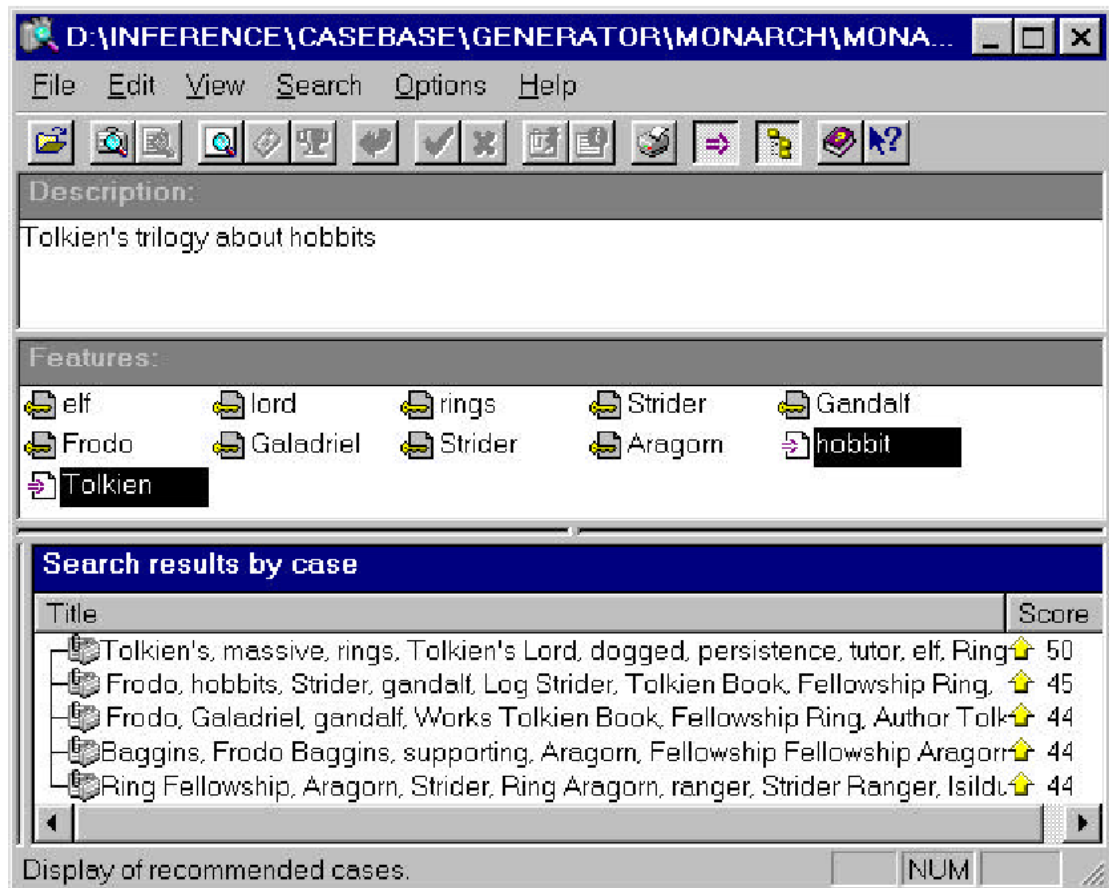


Fig. A2.1.g – Perguntas de características - lista de palavras-chave

Uma pergunta de texto é útil para reunir entradas para gerar uma mensagem de avaliação para o autor. Por exemplo, um caso de “último recurso” poderia ter uma pergunta de texto que questionaria, “O que você estava realmente procurando?” O usuário poderia digitar qualquer resposta.

O campo de descrição de caso é uma pergunta de texto. Tudo que é possível fazer com a descrição, é possível fazer com uma pergunta de texto.

## ***A2.2 – CBR Express Professional Author e sua arquitetura***

A arquitetura de uma base de casos é a organização global. O modo como é organizada uma base de casos depende do assunto e da sofisticação dos usuários finais. Esta seção explica a arquitetura mais amplamente usada, e realça as características de CBR Express Professional Author que suporta esta arquitetura.

### ***As Metas do Projeto Arquitetônico***

As três metas do projeto de base de casos que geralmente dita decisões arquitetônicas é como segue:

- Auxiliar o usuário a estabelecer um contexto preliminar no processo de procura. A procura deve focalizar na parte correta da base de casos antes de perguntar questões detalhadas;
- Auxiliar o usuário a diferenciar entre casos competidores e semelhantes até que seja encontrado o que é preciso; e
- Encorajar que o usuário fale se a procura teve êxito.

### ***Como CBR Express atinge as metas do projeto da base de casos***

Usuários podem não ter idéia do que perguntar ou como descrever o problema. As procuras de descrição iniciais podem conter informação incoerente, especialmente em sistemas de auto-ajuda, tal como suporte dos clientes “web-based”.

Se o usuário não pode estabelecer o contexto da sua pergunta nas suas próprias palavras, a base de casos tem que fornecer perguntas de contexto para guiar a investigação na área certa da base de casos. Bases de casos que obtêm êxito têm uma estrutura de árvore para dividir a base de casos em pastas de casos similares. Por exemplo, o usuário pode encontrar perguntas como estas no começo de uma procura:

- Qual é a natureza geral de seu problema? Qualidade de impressão
- Que tipo de problema de qualidade de impressão você tem? Linhas escuras.

Uma vez que estas perguntas sejam respondidas, o CPP pode auxiliar o usuário a diferenciar entre casos de “linhas escuras”.

Seleção do melhor caso pode ser determinada através de perguntas de confirmação (confirmar ou eliminar casos individuais). Se vários casos forem semelhantes, a combinação de descrição pode quebrar amarrações entre casos e os classifica com precisão surpreendente.

Quando uma procura falhar, é necessário saber mais sobre o fracasso, assim pode ser melhorada a base de casos. Pode ser usado o “last resort cases” que permite ao usuário enviar um pedido ao autor da base de casos para auxílio adicional.

### ***Definindo o contexto com uma Árvore de Decisão***

Uma árvore de decisão é uma série de perguntas que se ramificam desde um ponto de entrada comum e conduzem o usuário passo-a-passo a casos individuais, veja a Fig. A2.2.

Evitar a construção de uma árvore de decisão de perguntas de ramificação, que conduzem inexoravelmente da pergunta de contexto inicial a todo caso individual na base de casos, pelas seguintes razões:

- Para eliminar completamente a ambigüidade, uma árvore de decisão exige que sejam escritas muitas perguntas, e solicita ao usuário que responda muitas perguntas para cada procura;
- Perguntas na raiz da árvore são fáceis de escrever, mas perguntas que não se diferenciam ambigualmente entre casos individuais podem ser mais difíceis; e

- Árvores de decisão são difíceis manter. Casos mudam inesperadamente em forma que invalidam as perguntas cuidadosamente feitas que conduzem a eles.

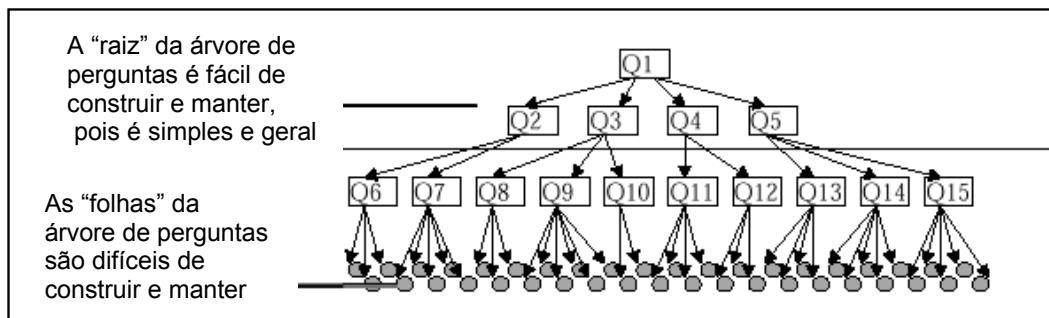


Fig.A2.2 – Árvore de perguntas

A linha horizontal na ilustração separa as poucas questões de contexto iniciais ou de topo do labirinto de perguntas nos nodos das folhas da árvore. As primeiras perguntas de contexto são simples, e não há muitas delas. É fácil de criar e manter estas perguntas porque elas questionam sobre atributos gerais da base de casos.

As muitas perguntas que separam casos individuais uns dos outros são detalhadas e incômodas. Se a base de casos muda freqüentemente, a manutenção fica difícil. Uma pergunta pode aparecer em muitas ramificações da árvore, e mudanças para a pergunta podem não ser uniformemente aplicáveis em toda a ramificação.

Os três tipos de arquitetura disponíveis são **Camadas de Decisão**, **Base de Casos Plana** e **de Procura de Pastas**.

É recomendado pela Inference Corporation, que para usufruir os benefícios da árvore de decisão sem as responsabilidades, deve ser utilizada a arquitetura de **Camadas de Decisão**.

Para maiores informações, consultar o tutorial eletrônico que acompanha o programa CBR Content Navigator da Inference Corporation.

***Um caso típico consiste de (no CBR Content Navigator)***

- **Título:** um único identificador para o armazenamento de caso;
- **Descrição:** uma descrição textual do objeto ou situação representada pelo caso;
- **Perguntas e Respostas:** itens que estreitam o foco de uma ampla procura;
- **Ação:** uma solução proposta, ou informação buscada; e
- **Anexos:** programas ou comandos que o computador pode executar para implementar a ação.

## **Referências Bibliográficas**



- AAMODT, A. and PLAZA, E. Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. **Artificial Intelligence Communications**, v. 7, p. 39-59, 1994.
- ALTHOFF, K.D. Knowledge acquisition in the domain of CBC machine centres: the MOLTKE approach. In: Boos, J., Gaines, B. and Ganascia, J.G. (Eds.), PROC. OF THE THIRD EUROPEAN WORKSHOP ON KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS, 1989, Paris, p. 180-195.
- ALTHOFF, K.D. et al. **A review of industrial case-based reasoning tools**. AI Intelligence, Oxford, UK, 1995. ISBN 1-898804-01-X.
- ANDRIOLE, S.J. and HOPPLE, G.W. **Applied artificial intelligence: a sourcebook**. Tab Books, 1992. ISBN 0830682635.
- ASHLEY, K.D. Distinguishing: a reasoner's wedge. In: Proc. of the NINTH ANNUAL CONFERENCE OF THE COGNITIVE SCIENCE SOCIETY, 1987, Northvale, USA.
- BALDIN, A. **La Manutenzione Secondo Condizione**, ed. Franco Angeli, 1993.
- BAREISS, E.R. **PROTOS: a unified approach to concept representation, classification, and learning**. Ph.D. thesis, Technical Report CS 88-10, Dept. of Computer Science, University of Texas, 1988.
- BAREISS, E.R. and SLATOR, B.M. **The evolution of a case-based approach to knowledge representation, categorization, and learning**. In: Medin, Nakamura and Taraban (Eds.), Categorization and category learning by humans and machines, Academic Press, 1992.
- BAREISS, E.R., PORTER, B., and WIER, C.C. PROTOS: An exemplar-based learning apprentice. In: Proc. of the FOURTH INTERNATIONAL WORKSHOP ON MACHINE LEARNING, 1987, Irvine, CA, Morgan Kaufmann, 1987, p. 12-23.
- BAREISS, R. The experimental evaluation of a case-based learning apprentice. In: Proc. of a CASE-BASED REASONING WORKSHOP, 1989, FL, Morgan Kaufmann, 1989, p. 162-167.
- BARLETTA, S. Introduction to case-based reasoning. **AI Expert**, v. 6 (8), p. 4-22, 1991.
- BONISSONE, P., CHEN, Y., GOEBEL, K., and KEDHKAR, P. Hybrid Soft Computing Systems: Industrial and Commercial Applications. In: Proc. of the IEEE, 1999, v. 87(9), p. 1641-1667.
- CHEETHAM, W.,. Case-Based Reasoning with Confidence. In: Proc. of the EUROPEAN WORKSHOP ON CASE-BASED REASONING, 2000, Trento, Italy.
- CUDDIHY, P., CHEETHAM, W. ELSI: A Medical Equipment Diagnostic System. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON CASE-BASED REASONING, 1999, Munich, Germany, p. 415-425.
- DEARDEN, A.M. Improving the interfaces to interactive case memories. In: Proc. of the FIRST UK CASE-BASED REASONING WORKSHOP, 1993. University of Salford.
- GENTNER, D. Finding the needle: Accessing and reasoning from prior cases, 1989.
- GICK, M., e HOLYOAK, K. Analogical problem solving. **Cognitive Psychology**, v. 12, p. 306-355, 1980.

- GUTIERREZ, C.R. A case-based reasoning applied to information retrieval: a theory of the acquisition of episodic memory. Ph.D. dissertation, Computer Science Dept., University of Kent at Canterbury, 1997.
- HAMMOND, K. J. *Case-Based Planning: Viewing Planning as a Memory Task*. Boston: Academic Press, 1989.
- HAMMOND, K.J. CHEF: a model of case-based planning. In: proc. of the AMERICAN ASSOCIATION FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AAAI-86, 1986. Philadelphia, PA, US.
- HAMMOND, K.J. and HURWITS, N. Extracting diagnosis features from explanations. In: Kolodner, J. (Ed.) proc. of the DARPA CASE-BASED REASONING WORKSHOP, 1988, Morgan Kaufmann.
- HENNESSY, D. and HINKLE, D. Initial results from CLAVIER: a case-based autoclave loading assistant. In: Bareiss, R. (Ed.) proc. of the DARPA CASE-BASED REASONING WORKSHOP, 1991, Morgan Kaufmann.
- HENNESSY, D. and HINKLE, D. Applying case-based reasoning to autoclave loading. **IEEE Expert**, v. 7 (5), p. 21-26, 1992.
- HINRICHS, T.R. **Problem solving in open worlds**. Lawrence Erlbaum Associates, 1992.
- HINRICHS, T.R. Some limitations of feature based recognition in case-based design. In: Veloso, M. and Aamodt, A. (Eds.), CASE-BASED REASONING RESEARCH & DEVELOPMENT (ICCBR '95), 1995, Sesimbra, Portugal, Springer Verlag, p. 471-480.
- INFERENCE CORPORATION. **CBR Content Navigator™ Authoring Tutorial**. Novato, USA, 1998.
- JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE. **Apostila do II Curso Internacional de Formação de Instrutores TPM**. São Paulo, Brasil, 1995.
- JURISICA, I. Representation and management issues in case-based reasoning systems. In: TRIO/ITRC RESEARCH RETREAT, 1994, Queens University, Canada.
- KEANE, M. **Analogical problem-solving**. Chichester, UK: Ellis Horwood, 1988.
- KOLODNER, J.L. Retrieval and organisational strategies in conceptual memory: a computer model. PhD dissertation, Yale University, 1980.
- KOLODNER, J.L. Reconstructive memory: a computer model. **Cognitive Science**, v. 7 (2), p. 281-328, 1983.
- KOLODNER, J.L. Selecting the best case for a case-based reasoner. In: proc. of the ELEVENTH ANNUAL CONFERENCE OF THE COGNITIVE SCIENCE SOCIETY, 1989, Northvale, NJ, Erlbaum.
- KOLODNER, J.L. **Case-based reasoning**. San Mateo, USA: Morgan Kaufmann, 1993.
- KOTON, P. **Using experience in learning and problem solving**. Ph.D. thesis, MIT/LCS/TR-441 Massachusetts Institute of Technology, Laboratory of Computer Science, 1989.
- LEAKE, D.B. *Case-based reasoning: experiences, lessons and future directions*. AAAI Press/MIT Press, 1996. ISBN 0-262-62110-X.
- MAGALDI, R.V. Maintaining aeroplanes in time-constrained operational situations using case-based reasoning. In: Haton, J., Keane, M. and Manago, M. (Eds.),

- ADVANCES IN CASE-BASED REASONING, 1994. Lecture notes in artificial intelligence, p. 984.
- NAKAJIMA, S. TPM Development Program - Implementing Total Productive Maintenance, Productivity Press, 1992.
- NORMAN, D.A. **Explorations in Cognition**. Published by W H Freeman & Co., 1975. ISBN 0716707365.
- NORMAN, D.A. **Learning and Memory**. Published by W H Freeman & Co., 1983. ISBN 0716713004.
- NORMAN, D.A. **The Psychology of Everyday Things**. Published by Harpercollins, 1988. ISBN 0465067093.
- NORMAN, D.A. **Models of human memory**. Academic Press, 1990. ISBN 0125213506.
- NORMAN, D.A. **The Design of Everyday Things**. Currency / Doubleday, 1990a. ISBN 0385267746.
- NORMAN, D.A. and RUMELHART, D.E. Memory and knowledge. In: Norman, D.A., Rumelhart, D.E. and the LNR Research Group (Eds.), EXPLORATIONS IN COGNITION, 1975a. San Francisco: Freeman.
- OLIVEIRA, L. R. **Cased-Based Reasoning in Virtual Reality: A Framework for Computer-Based Training**. PhD thesis, T.I.M.E. Research Institute, Department of Surveying, University of Salford, Salford, UK, 1998.
- OLIVEIRA, L.R. and WATSON, I. Case-based reasoning in virtual reality. In: Proc. of the THIRD UK CASE-BASED REASONING WORKSHOP (UKCBR3), 1997, Filer, N. and Watson, I (Eds.) - University of Manchester.
- PLAZA, E. and ARCOS J.L. Reflection and analogy in memory-based learning. In: Proc. of the MULTI-STRATEGY LEARNING WORKSHOP, 1993.
- PORTER, B.W. and BAREISS, E.R. PROTOS: an experiment in knowledge acquisition for heuristic classification tasks. In: Proc. of the FIRST INTERNATIONAL MEETING ON ADVANCES IN LEARNING (IMAL), 1986, Les Arcs, France, p. 159-174.
- PORTER, B.W., BAREISS, R. and HOLTE, R.C. Concept learning and heuristic classification in weak-theory domains. **Artificial Intelligence**, v. 45, p. 229-263, 1990.
- RIESBECK, C.K. and SCHANK, R.C. **Inside case-based reasoning**. Erlbaum associates, 1989. ISBN 0898597676.
- RISSLAND, E.L. and SKALAK, D.B. Combining case-based reasoning and rule-based reasoning: a heuristic approach. In: ELEVENTH INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (IJCAI), 1989, Detroit, Michigan, p. 524-530.
- RUMELHART, D.E. and ORTONY, A. The representation of Knowledge in memory. In: Anderson, J., Spiro, R.J. and Montague, C. (Eds.), SCHOOLING AND THE ACQUISITION OF KNOWLEDGE, 1977, Northvale, Erlbaum.
- SCHANK, R. D. Goal-based scenarios: case-based reasoning meets learning by doing. In: Leake, D.B. (ed.) CASE-BASED REASONING: EXPERIENCES, LESSONS AND FUTURE DIRECTIONS, 1996, AAAI /MIT Press, p. 295-347.

SCHANK, R.C. **Dynamic memory: a theory of learning in computers and people.** Cambridge University Press, 1982.

SCHANK, R.C. and ABELSON, R. **Scripts, plans, goals and understanding.** Hillsdale, New Jersey, US: Lawrence Erlbaum Associates, 1977.

SCHANK, R.C. and KOLODNER J.L. **Retrieving information from an episodic memory, or why computer memories should be more like people's.** Technical report, Department of Computer Science, Yale University, 1979.

SHARMA, S. and SLEEMAN, D. REFINER: a case-based differential diagnosis aid for knowledge acquisition and knowledge refinement. In: Proc. of the EUROPEAN WORKING SESSION ON LEARNING (EWSL 88), 1988, p. 201-210.

SHIROSE, K. **TPM for Workshop Leaders.** Productivity Press, 1992.

SIMPSON, R.L. **A computer model of case-based reasoning in problem solving:** an investigation in the domain of dispute mediation. Atlanta, US, 1985.

SLADE, S. Case-based reasoning: a research paradigm. **AI Magazine**, p. 42-55, 1991.

SYCARA, K.P. **Resolving adversial conflicts:** an approach to integrating case-based and analytic methods. Technical report GIT-ICS-87/26, Georgia Institute of Technology, School of Information and Computer Science, Atlanta GA, 1987.

THIOLLENT, M. **Pesquisa-ação nas organizações.** São Paulo: Atlas, 1997. ISBN 8522417172.

VARMA, A., RODDY, N. ICARUS: Design and Deployment of Case-Based Reasoning system for Locomotive Diagnostics. In: 3<sup>rd</sup> ICCBR, 1999, Seon, Germany.

WATSON, I. and MARIR, F. Cased-Based Reasoning: A Review. **The Knowledge Engineering Review**, Salford, UK, v. 9(4), p. 327-381, 1994.

WATSON, I.D. An introduction to case-based reasoning: a review. In: Watson, I. (Ed.), PROGRESS IN CASE-BASED REASONING, LECTURE NOTES IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE 1020, 1995, Springer Verlag.

WATSON, I.D. Progress in Case-Based Reasoning. In: Proc. of UKCBR2, AI-CBR, 1996, University of Salford, UK.

WATSON, I.D. **Applying case-based reasoning: technology for enterprise systems.** Morgan Kaufman Publishers Inc., 1997. ISBN 1558604626.

WINGFIELD, A. **Human learning and memory: an introduction.** Harper & Row Publishers, 1979. ISBN 0-06-047149-2.