

Aplicação de RBC para diagnóstico de falhas em equipamentos complexos

Antonio Valerio Netto

Divisão de tecnologia e novos negócios, Cientistas Desenvolvimento Tecnológico, Brasil
valerio@cientistas.com.br

Abstract - Modern industrial systems are made up of a combination of advanced hardware and software devices that, along with the undisputed efficiency they can bring, also make their management a complex activity. Maintenance procedures, in particular, are critical since they may require shutdown of one or more sectors of the company. On the other hand it is common a certain maintenance problem to repeat itself several times. But companies in general do not yet have a mechanism to store the knowledge generated in these maintenance in a structured way in order to be used efficiently in the future. In this article the construction of a system for this purpose is cited and specifically the recovery mechanism is presented. The methodology used is that of Case-Based Reasoning (CBR) that seeks to solve a problem proposed from solutions given in the past in similar situations. The use of CBR systems to support fault diagnosis and isolation processes allows the creation of a corporate memory for the maintenance team, as well as reducing training costs and equipment downtime, leading to an overall reduction of costs with maintenance processes.

Keywords - Intelligent system, complex equipment, maintenance, case-based reasoning.

I. INTRODUÇÃO

Segundo dados da Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN), as empresas gastam em média 4,27% de seu faturamento em processos de manutenção, representando uma grande parcela do PIB [1]. Adicionalmente, dados do consórcio alemão INRECA [2] demonstram que a adoção de um sistema inteligente empregando a técnica de Raciocínio Baseado em Casos (RBC) pode reduzir em até 25% os custos do processo de diagnóstico e isolamento de falhas em equipamentos. A maioria das aplicações existentes na área de manutenção de equipamentos é limitada a aplicações de banco de dados que somente armazenam e fornecem informações gerais sobre manutenção, mas não exploram o conhecimento implícito nessas informações. O RBC já foi utilizado em grande número de aplicações de sucesso [3]. Fora do Brasil, mais de 130 grandes corporações utilizam sistemas inteligentes desenvolvidos com RBC. Na Fig. 1 estão relacionadas algumas empresas estrangeiras que desenvolvem sistemas com seus respectivos clientes.

O objetivo do projeto proposto foi o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que pudesse acelerar a construção e implantação de um Sistema Inteligente (SI) para o diagnóstico de falhas em equipamentos complexos. Essa ferramenta emprega a técnica de RBC levando em conta a

padronização dos processos de aquisição do conhecimento necessário para que o SI realize as tarefas de apoio à decisão, reutilização dos mecanismos de raciocínio e manipulação do conhecimento.

País	Empresa desenvolvedora	Empresa cliente	Funcionalidade
Alemanha			Sistema de suporte ao cliente
França		DAIMLERCHRYSLER	Apoio aos fornecedores
Estados Unidos			Atendimento ao cliente
Estados Unidos			Apoio ao diagnóstico de falhas em turbinas de geração de energia
Canadá			Apoio ao diagnóstico de falhas em aeronaves

Figura 1. Empresas que comercializam sistemas de Raciocínio Baseado em Casos.

A ferramenta é composta por módulos que permitem a autoria dos repositórios de conhecimento necessários para o funcionamento de um sistema de RBC. A ferramenta desenvolvida possui um editor que possibilita, à equipe de construção e implantação dos sistemas de RBC, definir todos os atributos e índices que definem os conceitos, bem como os valores que podem ser assumidos por esses atributos em um domínio. Adicionalmente, esse editor possibilita que sejam definidos os conceitos e relacionamento entre esses conceitos, para a estruturação da representação dos casos em um domínio.

Essa ferramenta possui um editor de conteúdo de bases de casos que possibilita, à equipe de construção e implantação dos sistemas de RBC, formalizar o conhecimento adquirido, na forma de casos, e construir a base de conhecimento do sistema. Além disso, a ferramenta possui um editor de regras que possibilita, à equipe de construção e implantação dos sistemas de RBC, definir o grau de similaridade entre os conceitos e palavras do vocabulário do sistema. Isso pode ser realizado por meio de agrupamentos de palavras e conceitos sob um conceito mais genérico.

Além dos módulos de edição dos repositórios de conhecimento, a ferramenta possui um conjunto de

mecanismos de recuperação de casos que utiliza o conhecimento contido nesses repositórios para realizar as tarefas de recuperação de casos em contextos que permitam ao sistema resolver os problemas apresentados. O mecanismo de recuperação de casos implementado foi baseado, inicialmente, em um algoritmo incremental de recuperação de casos que utiliza uma árvore de decisão, possibilitando o desenvolvimento de um mecanismo interativo de recuperação de casos.

Neste artigo será apresentado o mecanismo de recuperação desenvolvido neste projeto. Na seção 2 é apresentada uma Conceitualização de RBC que direcionou os trabalhos práticos. Na seção 3 está descrita a metodologia que foi aplicada a execução das atividades e na seção 4 os resultados obtidos com a implantação do projeto. Por fim, na seção 5 são descritas as considerações finais.

II. CONCEITUALIZAÇÃO DO RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS

Na maioria das vezes, ao procurar uma solução, ou uma explicação para um problema que se enfrenta, se lembra de situações passadas nas quais nos deparamos com a mesma questão. Raciocínio Baseado em Casos é um método de soluções de problemas usando adaptações de soluções anteriores similares a estes problemas. Sistemas Baseados em Conhecimento (SBC) podem adaptar velhas soluções para encontrar novas; usar velhos casos para explicar novas situações e criticar novas soluções; raciocínios anteriores para interpretar uma nova situação; ou criar uma solução apropriada para um novo problema.

Um sistema de RBC procura em uma base de casos (devidamente indexada), casos passados que se aplicam no problema atual. Uma indexação coerente e o modo como os casos são representados facilitam na recuperação correta dos mesmos.

O domínio de aplicação de um sistema RBC é a área na qual o sistema é aplicado, por exemplo, medicina, arquitetura, administração, finanças ou engenharia mecânica. Cada domínio possui suas características próprias que influenciam fortemente a escolha da forma de representação de conhecimento a ser utilizada. Algumas características do domínio que indicam que a metodologia de RBC é apropriada para ser aplicada são:

- Existência de registros de problemas previamente resolvidos;
- Casos históricos são vistos como um bem que deveria ser preservado;
- Se não há um histórico de casos, é intuitivo que relembrar experiências prévias seria útil;
- Especialistas falam de seus domínios por meio de exemplos;
- Experiência é ao menos tão valiosa quanto o conteúdo de livros textos;
- Problemas não são completamente entendidos (modelos ruins, pouca disponibilidade de conhecimento do domínio);

- Existem muitas exceções para as regras;
- Consideração de conhecimento incompleto.

Os benefícios potenciais da metodologia de RBC para as organizações são:

- A descoberta de conhecimento em dados;
- Proporcionar consistência nas decisões por toda a organização;
- Preservar a experiência prática dos especialistas capturando seu conhecimento;
- Transferir o conhecimento de especialistas experientes para os novatos;
- Criar uma memória corporativa compartilhando experiências individuais: RBC faz uso direto de experiências passadas.

A. Representação de Casos

A representação dos casos num sistema de RBC é essencialmente a representação do conhecimento. Há outros momentos em que algum conhecimento especialista é representado no sistema de RBC, entretanto, é nos casos que está representado o conhecimento que servirá para sugerir uma solução para o problema de entrada no sistema: a base de conhecimento está nos casos [4].

O problema de representação em RBC refere-se, fundamentalmente, em o que guardar de um caso, encontrando uma estrutura apropriada para descrever o conteúdo do caso e decidindo como a memória de casos deve ser organizada e indexada para uma efetiva recuperação e reutilização [5].

Os casos são normalmente representados por meio de uma lista de atributos devidamente valorados. As características de um caso referem-se ao par atributo-valor. Na representação dos casos, dois são os componentes básicos:

- O problema: que descreve o estado do mundo quando o caso ocorreu;
- A solução: que postula a solução derivada para aquele problema. A solução pode também ser uma ação, um plano ou uma informação útil ao usuário.

Conforme [6], a representação de um caso pode se dar das seguintes maneiras:

- Representação Atributo-Valor;
- Representação Orientada a Objetos;
- Árvores e Grafos;
- Redes Semânticas;
- Árvores K-D.

B. Recuperação de Casos

Segundo [6], a recuperação de um caso pode ser realizado das seguintes maneiras:

- Identificação das características: informa ao sistema as características do caso atual;
- Casamento inicial: recupera um conjunto de candidatos plausíveis;

- **Busca:** é um processo mais elaborado de selecionar o melhor candidato entre os casos recuperados durante o casamento inicial;
- **Seleção:** o processo de seleção gera consequências e expectativas de cada caso recuperado e tenta avaliar as consequências e justificar as expectativas. Os casos são eventualmente ordenados de acordo com a métrica ou algum critério de classificação, desta forma o caso que possui a mais forte sustentação de similaridade ao novo problema é escolhido.

De acordo com [4], similaridade é a essência do RBC, uma vez que o fundamento do paradigma é solucionar um problema atual, reutilizando a solução de uma experiência passada similar. Já [5] descreve similaridade como um conceito genérico e mal definido, profundamente influenciado por fatores subjetivos, além de afirmar que “objetivos diferentes podem invocar tipos de similaridade diferentes”.

III. METODOLOGIA

A metodologia para o desenvolvimento do trabalho teve as seguintes etapas definidas:

- Primeira etapa: Estudo de trabalhos relacionados a ferramentas similares à proposta neste projeto.
- Segunda etapa: Estudo de SIs baseados em RBC aplicados ao domínio específico do diagnóstico de falhas em equipamentos complexos.
- Terceira etapa: Definição de um estudo de caso para validar o desenvolvimento da ferramenta proposta.
- Quarta etapa: Estudo de algoritmos para a criação de árvores de decisão.

A. Estudo de Trabalhos Relacionados

Os conceitos de raciocínio baseado em casos podem ser encontrados comercialmente desde a década de noventa. Em [11] é apresentada uma revisão sobre os fundamentos do RBC e sua recente aplicação em diferentes domínios. Um produto desenvolvido na Alemanha pela empresa Tech:Inno GmbH que era uma extensão da Universidade de Kaiserslautern, o CBR-Works ganhou destaque como um dos mais bem sucedidos da categoria e ainda atualmente é usado em cursos universitários [6]. A empresa tornou-se a “Empolis” e continua no mercado.

CBR-Works é um pacote que está voltado para o desenvolvimento de aplicações dentro do enfoque de sistemas de Raciocínio Baseados em Casos, objetivando a resolução de problemas e aprendizagem com base em experiências passadas. O CBR-Works atende ao processo cíclico, integrado de resolução de um problema, aprendizagem desta experiência e resolução de um novo problema, e assim, sucessivamente. Esta ferramenta comporta tanto o desenvolvimento de uma aplicação nova como o desenvolvimento a partir de um banco de dados já existente, ela adequa-se ao desenvolvimento de um sistema na área de diagnose em consultas eletivas pois aplica os conceitos de RBC de maneira eficiente e prática,

possibilitando assim o desenvolvimento do sistema com maior rapidez e sem preocupação com elaboração de algoritmos.

Algumas outras ferramentas que tiveram sucesso e contribuíram para o desenvolvimento e estabelecimento da metodologia de RBC são citadas a seguir:

ART*Enterprise: É um produto da empresa Brightware, antiga divisão da Inference Corporation, atual MindBox. ART*Enterprise era comercializada como uma ferramenta de desenvolvimento de aplicações integrada e orientada para objetos. Incluía uma interface gráfica que possibilitava incluir dados de repositórios na maioria de formatos DBMS proprietários para o desenvolvimento de aplicações cliente servidor. Esta ferramenta tinha o inconveniente que os atributos dos casos em geral são pares atributo:valor e que não se oferece suporte indexado indutivo.

ReCall: é uma marca registrada de CBR da Isoft que ainda atua no mercado. Esta ferramenta oferece para recuperação uma combinação dos métodos “nearest neighbour” e indutivo. ReCall é codificado em C++ e está disponível para Windows e Unix. É uma linguagem orientada para objeto com mecanismos de classificação, herança e de herança múltipla. Através de um editor gráfico o usuário define os mecanismos de classificação e as regras de adaptação.

Case-1: é uma ferramenta RBC desenvolvida pela Astea Internacional. Os casos são representados como texto de forma livre que descreve um problema, um conjunto de perguntas predefinidas que permitem aceitar ou rejeitar um caso e um conjunto de soluções. Os casos são armazenados em um banco de dados relacional.

CaseAdvisor: Comercializada pela Sententia Software, esta ferramenta baseia-se nos produtos CBR da Inference. O componente CaseAdvisor Authoring é uma ferramenta muito simples que permite a entrada de informações como o nome do caso, a descrição e a solução. Tem-se também os componentes CaseAdvisor Problem Resolution (motor de recuperação de casos) e o CaseAdvisor WebServer (aplicativo para Web) que conformam o pacote.

CasePower: É uma ferramenta que oferece as funcionalidades básicas dos RBC e que está direcionada principalmente para aplicações numéricas. CasePower usa o método “nearest neighbour” para a recuperação dos casos. Provê a funcionalidade básica de CBR e se enfoca principalmente a aplicações numéricas.

CBR3: Desenvolvido pela Inference Corp (atual eGain), a família de ferramentas CBR3 está formada por:

- CBR Express: ambiente de desenvolvimento de bases de casos;
- CasPoint: motor de busca em bases de casos desenvolvidas usando CBR Express;
- Generator: ferramenta que automatiza a criação de bases de casos a partir de arquivos;
- Tester: ferramenta que oferece uma variedade de métricas para desenvolvedores de base de casos que usam CBR3;

CBR-Express: Tem uma estrutura de caso simples e usa o processo de comparação baseado no algoritmo do vizinho mais próximo – *nearest neighbour* – para recuperar casos. Um aplicativo para diagnóstico de falhas em impressora desenvolvido usando esta ferramenta pode ser encontrado em [7] e outro exemplo de aplicativo para o diagnóstico de falhas de uma grameadora é descrito em [8]. Uma característica importante do CBR-Express é sua habilidade em lidar com texto em formato livre.

B. Estudo de SIs baseados em RBC para o diagnóstico de falhas de sistemas complexos

Sistemas industriais modernos são constituídos por uma combinação de dispositivos avançados de hardware e software, os quais frequentemente trabalham de forma colaborativa a fim de atingir seus objetivos finais. Esse modelo indiscutivelmente aprimora a qualidade e estende a capacidade de produção. Todavia, o gerenciamento desse modelo constitui-se uma tarefa complexa, uma vez que a manutenção e configuração de sistemas complexos interagindo entre si não são triviais.

Procedimentos de manutenção em particular são críticos uma vez que podem exigir a paralisação de um ou mais setores da empresa. Logo, minimizar o tempo para diagnosticar e corrigir um dado defeito possui alta prioridade, o que infelizmente nem sempre é conseguido. Por outro lado é comum um determinado problema de manutenção repetir-se diversas vezes, seja em um mesmo dispositivo, ou em dispositivos similares localizados em algum outro lugar. Infelizmente o conhecimento gerado para a resolução de tais problemas não é armazenado de forma estruturada a fim de ser utilizado eficientemente no futuro. Partindo-se dessa necessidade vários sistemas especialistas têm sido desenvolvidos para o diagnóstico de falhas de equipamentos complexos.

Diversas abordagens podem ser encontradas na literatura para a construção de sistemas de diagnóstico de equipamentos complexos conforme descrito a seguir.

- *SpotLight Reasoning Engine Software da CaseBank Technologies, Inc.*

É um software especificamente projetado para apoiar o diagnóstico de falhas em equipamentos complexos, sistemas ou processos. A aplicação tem dois componentes: uma base de casos de problemas conhecidos e as soluções aplicadas para o equipamento em questão e um software de raciocínio que faz pesquisas na base de casos e interação com o usuário. Como a base de casos é única para cada aplicação de diagnóstico, o mesmo SpotLight opera em todas as bases. O software é resultado da parceria Bombardier/CaseBank, usado desde de 2003.

- *Icarus - Intelligent Case-based Analysis for Railroad Uptime Support da General Electric (GE)*

É uma ferramenta de RBC para apoio ao diagnóstico de falhas *off-board* em locomotivas da GE Transportation

Systems usada desde 1999 [9]. A GE também usa um sistema de RBC para diagnosticar turbinas a gás em Atlanta criado em parceria com a Enkia Corporation. Os objetivos do serviço são melhorar a credibilidade da turbina e do sistema, reduzir custos de manutenção e produzir a maior disponibilidade do equipamento de geração de energia. Como em qualquer desenvolvimento de software, os primeiros passos na criação do sistema envolveram o levantamento de requisitos junto ao usuário e levantamento das condições e o ambiente no qual o sistema seria usado. A experiência do time de desenvolvimento e a maturidade de processos dentro do M&D center da GE, propiciaram que este projeto começasse com um conjunto de requerimentos de precisão, modularidade, parametrização, robustez e integração de sistema bem definidos.

C. Definição do estudo de caso

Para validação da ferramenta desde a etapa inicial da sua concepção foi procurado um estudo de caso real para se conseguir uma validação mais efetiva em comparação com uma base de conhecimento da literatura. Deve-se ressaltar também que não existem bases de casos reais públicas por tanto a validação da ferramenta em parceria com uma empresa mostrava-se necessária. Este processo de validação é essencial para a certificação da ferramenta. Neste sentido a equipe de projeto foi na busca de parceria para o processo de validação estabelecendo contato com a empresa fabricante de linha branca na cidade de São Carlos (SP). Durante visita realizada, buscou-se estabelecer uma parceria tecnológica para o aprimoramento da ferramenta.

Na reunião com os representantes da empresa houve o interesse de utilizar o sistema inteligente para a manutenção de um equipamento responsável pela linha de produção de um modelo de lavadora de pequeno porte. Diante disto, foi proposta a colaboração com o objetivo de validar a ferramenta computacional. Para esta validação foi necessário que a empresa parceira disponibilizasse os relatórios de manutenção e os manuais do equipamento. Assim como apoio na realização de entrevistas com o pessoal técnico, e a observação *in loco* dos procedimentos executados para resolver os problemas de falhas.

D. Estudo de algoritmos para a criação de árvores de decisão

A recuperação é uma função comum em bases de dados. As informações são recuperadas a partir de uma busca por atributos ou chaves iguais. Todavia, em uma base de casos, a busca dá-se por atributos como valores parecidos e/ou semelhantes. Uma aplicação RBC deve possuir recursos para identificar casos similares.

Existem dois tipos de similaridade: sintática e semântica. A similaridade sintática, mais superficial, é estabelecida em termos da semelhança sintática dos atributos, como sinônimos, análise de perfil, categorias, qualificadores, dentre outros. A similaridade semântica, mais complexa, propõe-se a englobar o significado dos casos. A definição das características

similares entre casos ou classes de casos é fruto do conhecimento de um especialista. Há necessidade de um conhecimento profundo sobre o domínio da aplicação. Existem diferentes algoritmos voltados para a recuperação de casos, como por exemplo:

- Nearest-neighbor;
- Kd-tree;
- Fish-and-Sink,
- Crash memory model;
- Knowledge-directed
- Spreading Activation (KDSA);
- Case Retrieval Nets (CRNs);
- Objectdirected Case Retrieval;
- Nets (OCRNs).

Em ferramentas comerciais, duas técnicas são mais usadas: *nearest-neighbor* e *inductive retrieval* [7].

A técnica *nearest-neighbor retrieval* faz uso de uma fórmula para calcular a distância Euclideana entre dois casos. Distância Euclideana é uma medida numérica de similaridade, onde quanto menor for esta medida maior é o grau de similaridade entre os casos. A técnica *inductive retrieval* constrói, a partir de um atributo chave, um árvore de decisão indexada que é usada para organizar e recuperar os casos.

Um método para elaboração de árvores de decisão e para geração de regras amplamente utilizado e incorporado por outras ferramentas para mineração de dados é o C4.5, que é implementado por um software com o mesmo nome, desenvolvido pelo Prof. Ross Quinlan [10]. Este método é uma evolução do método anterior, conhecido como ID3 (*Iterative Dichotomizer 3*). Por ter sua teoria descrita em livro e ser disponibilizado com fontes, o método disseminou-se rapidamente e hoje é incorporado em várias ferramentas comerciais da categoria. Uma delas é a Weka que contém uma implementação livre do algoritmo J48 que é uma versão do C4.5. Fizemos testes com o C4.5 e com a Weka.

O algoritmo automaticamente cria uma árvore de decisão a partir da base de dados de treinamento. Ele usa uma estratégia de busca *greedy* e uma heurística para escolher o atributo mais promissor. Esta heurística é chamada de “information gain” e é baseada na função de entropia de Shannon. A cada nó a árvore de decisão avalia o ganho de informação para todos os atributos que são relevantes e escolhe o que for mais discriminante de acordo com sua heurística.

IV. RESULTADOS

O estudo de ferramentas similares permitiu um melhor entendimento de como este tipo de sistemas funcionam. No momento os sistemas deste tipo existentes são todos comerciais e em inglês, desta forma o estudo serviu de confirmação da importância do desenvolvimento de uma ferramenta nacional direcionada especificamente para aplicações baseadas em RBC para o diagnóstico de falhas. O fato de limitarmos o domínio da aplicação fará com que a

interface da ferramenta seja mais intuitiva para a área que está se pretendendo abranger. A análise das ferramentas permitiu também o levantamento das características fundamentais deste tipo de sistemas em relação ao editor de casos e os mecanismos de armazenamento e recuperação dos mesmos.

Por outro lado o estudo dos sistemas especialistas SIS aplicados ao diagnóstico de falhas permitiu o entendimento dos tipos de atributos característicos de equipamentos complexos. Este estudo revelou a necessidade de técnicas modernas para o tratamento de bases de casos deste tipo que normalmente podem incluir um grande número de casos.

A definição de um estudo de caso para a validação da ferramenta permitiu à equipe de desenvolvimento a aplicação do processo de modelagem de casos desde a etapa de aquisição do conhecimento por meio das entrevistas realizadas aos especialistas da Electrolux com o objetivo de criar a base de casos específica. Finalmente foram realizados testes preliminares com os algoritmos de árvores de decisão contidos na ferramenta Weka com casos ainda não revisados pelos especialistas da Electrolux. Observou-se que talvez a ideia inicial de indexar os casos pelas partes da máquina seja menos eficiente do que indexar por sintomas.

Na fase de aquisição das informações foram gravadas sete entrevistas com um dos operadores e foram tiradas fotos do equipamento e do gabinete da máquina de lavar. Com esse material foram delineados mais de 30 casos que foram obtidos principalmente por meio dessas entrevistas, pois não existe documentação detalhada. Os casos coletados foram avaliados pelos técnicos responsáveis. Essa atividade foi realizada repetidas vezes até se obter uma base de casos confiável.

O equipamento é uma linha de produção automatizada com cerca de trinta metros de comprimento. Uma chapa metálica (chamada de *blank*) é colocada sobre uma esteira e percorre uma série de estações (cerca de 18) nas quais sofre operações de corte, furação e dobra até atingir uma região (chamada de ilha) onde dois robôs realizam o cravamento para unir as extremidades da chapa e instalar as cantoneiras, conformando o gabinete da máquina de lavar.

A seguir está transcrito um trecho de entrevista sobre uma operação que realiza o repuxo no furo onde vai ser conectada a mangueira de água:

“- Por que acontece da máquina não realizar o repuxo?”

“- Dá alguma falha no sistema e a ferramenta não desce, ela não avança, entendeu? Como o sistema ainda não é monitorado, o que vai acontecer, a máquina não vai reconhecer essa falha, a máquina não sabe que a ferramenta não desceu porque ela não é monitorada... Só lá na inspeção vai saber. Às vezes acontece de um operador estar passando e vê... Se a chapa parar no lugar errado... Fica um lado maior que o outro... A causa é o mau posicionamento da chapa... Repuxo trincado é necessidade de afiar a ferramenta.”

A Fig. 2 mostra um repuxo realizado corretamente e um desigual. Um caso modelado pode ser observado na Fig. 3.

Após a obtenção dos casos passou-se a validar a base de casos montada. Para tanto foi usado o algoritmo C4.5. Até o presente momento, a base de casos foi alterada três vezes, porém os resultados não foram satisfatórios, visto que os resultados mostram que ainda não foi obtido um conjunto de atributos conveniente. A árvore gerada está muito desbalanceada e a porcentagem de acerto muito pequena. Isto pode ser devido ao número pequeno de instâncias ou ao conjunto de atributos não satisfatório, porém ainda não há certeza quanto a isso, para tanto serão feitos mais testes com a base de casos. Na literatura há relatos de que a base de casos entra em operação com poucos casos, cerca de 20, sendo chamada de semente. Com o uso pode-se chegar a centenas. Ainda não há informação suficiente para se prever como a base em construção vai evoluir mas talvez não atinja essa quantidade de casos.

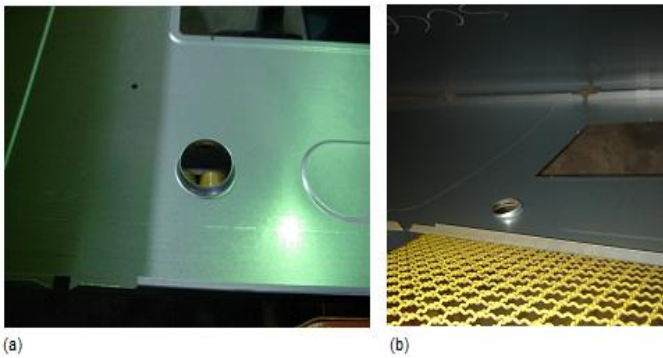


Figura 2. (a) repuxo feito corretamente e (b) repuxo desigual.

Caso nº TST01		
Vergão na face frontal.		
Operação		
100 – Estação de raio frontal do gabinete		
Sintoma		
Gabinete apresentando vergão na face frontal.		
Causa		
Quebra ou desajuste dos delimitadores da mesa móvel.		
Reparo		
a) Se tiver no estoque, trocar o delimitador. b) Se não, chamar a ferramentaria ou manutenção mecânica.		
Executado por		
Ferramentaria		
Tempo de diagnóstico	Tempo de reparo	Custo do reparo
Imediato		
Data de ocorrência	Número de ocorrências:	
Observação		
Problema associado à necessidade de equalização do sistema hidráulico.		

Figura 3. Representação de um caso.

O fato de limitarmos o domínio da aplicação fez com que a interface da ferramenta fosse mais intuitiva. A análise das ferramentas permitiu também o levantamento das características fundamentais deste tipo de sistemas em relação ao editor de casos e os mecanismos de armazenamento e recuperação dos mesmos. Contudo, um bom entendimento do domínio de aplicação ainda não foi atingido, mas os casos que constituirão a semente da base de casos já foram adquiridos com sucesso. E também foi finalizado com sucesso

o esquema de indexação.

A. Avaliação comparativa

Foram levantados dados do uso da aplicação durante 36 dias contínuos dentro da indústria de linha branca onde o sistema foi implantado. Em linhas gerais foram verificados três indicadores de desempenho. O objetivo foi realizar um comparativo do desempenho que o sistema gerou antes e depois da sua implantação.

O primeiro indicador foi o “tempo de detecção do problema”. Para isto, foram analisadas 312 fichas de manutenção onde constava um descritivo de manutenção e foram entrevistados seis profissionais da empresa da área de manutenção que são divididos em três turnos de trabalho (dois por turno). Em mais de 85% das ocorrências não recorrentes, o sistema ajudou a apoiar a detecção em um tempo de menos de 10 min. Sendo que a média de tempo levantada nas fichas e nas entrevistas era de 20 min a 25 min. Notou-se que nos problemas recorrentes, os profissionais detectavam em torno de cinco minutos devido à experiência prévia. Contudo, importante lembrar o RBC tem melhor desempenho quando aplicado em equipes não experientes ou quando a ocorrência não é recorrente, isto é, muito frequente.

O segundo indicador foi a “qualificação dos dados gerados na ocorrência”. Pois ao final da manutenção, o técnico tinha que descrever na ficha de manutenção a ocorrência e detalhar como foi realizada a manutenção. Isto gerava, inclusive, muito documento repetitivo. As novas ocorrências levaram em torno de 15 min para preencher e armazenar a informações, inclusive já embutindo as fotos tiradas para apoiar a descrição. Sem o sistema, o tempo estimado chegava a 30 min e muitas vezes, o preenchimento da ficha ocorria somente dois dias depois do ocorrido. Isto prejudicava o detalhamento e nas fichas que continham desenhos, os mesmos eram feitos a mão.

Por fim, o indicador de destaque, foi o “tempo de consulta à base de informações das antigas manutenções”. Como eram em fichas de papel e armazenados por número da ocorrência. Dificilmente, as duplas de um turno, buscavam as fichas geradas por outra dupla de turno diferente. Quando foi pedido para realizar esta atividade, praticamente, levaram quase uma hora ou até mais, isto quando achavam uma ocorrência parecida. Pois não existia nenhum indexador para apoiar esta busca, como: palavras chaves, datas, etc. Pelo sistema, em menos de 10 min já se estava lendo a ficha digital de uma manutenção similar.

Diante desses três indicadores foi possível demonstrar ao supervisor de manutenção da indústria, justificativas para a adoção da tecnologia.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maioria das aplicações existentes na área de manutenção de equipamentos é limitada a aplicações de banco de dados que somente armazenam e fornecem informações gerais sobre manutenção, mas não exploram o conhecimento implícito

nessas informações. Um ponto inovador desse projeto é a construção de uma ferramenta que apoia a construção de sistemas inteligentes de RBC. Essa ferramenta possibilita a padronização e a criação de uma metodologia de projeto para a construção e implantação de sistemas de RBC e permite a melhoria contínua do seu processo de desenvolvimento. Essa ferramenta também possibilita uma maior rapidez na construção de sistemas inteligentes por meio do apoio às fases de aquisição de conhecimento e codificação da máquina de raciocínio que constituem o processo de desenvolvimento de sistemas inteligentes.

A utilização de sistemas de RBC para o apoio aos processos de diagnóstico e isolamento de falhas permite a criação de uma memória corporativa para a equipe de manutenção, além de reduzir os custos de treinamento e tempos de parada dos equipamentos, levando a uma redução global dos custos com os processos de manutenção. A tecnologia de RBC permite o desenvolvimento de sistemas inteligentes que imitam o processo de raciocínio dos seres humanos por utilizarem experiências passadas (casos) que fornecem soluções para problemas específicos ocorridos no passado. Isso permite aplicar essa tecnologia, a domínios ainda pouco entendidos e onde não existe um modelo de raciocínio, ou seja, não existem regras claras de causas e consequências. Essa característica é desejável em sistemas de apoio a decisão no processo de diagnóstico de equipamentos complexos, pois um mesmo conjunto de componentes em um equipamento complexo pode causar tipos diferentes de erros, dependendo de interação entre esses componentes.

Esse projeto permitirá o estabelecimento de um centro de competência nacional com diferencial de mercado pela implantação de sistemas inteligentes utilizando a tecnologia RBC. Outro diferencial é a utilização da ferramenta proposta nesse projeto para o apoio ao processo de construção e possibilitando uma maior rapidez na implantação de sistemas inteligentes. Isso se refletirá em processos de construção e implantação de sistemas inteligentes a custos menores em relação aos sistemas importados. Outro ponto favorável é o estabelecimento de um centro de competência em uma empresa nacional, com rápido acesso a qualquer parte do País. A existência de uma empresa nacional reduzirá os custos com manutenção dos sistemas inteligentes e permitirá a criação de divisas para o País, pela exportação dos sistemas inteligentes, em uma fase posterior de comercialização.

É importante salientar que a utilização da ferramenta computacional desse projeto permitirá a criação de modelos reutilizáveis de domínios de aplicação e possibilitará uma maior rapidez na construção e implantação de sistemas RBC. Visualiza-se para o futuro a expansão da área de aplicação dos sistemas inteligentes em outras áreas além da manutenção de equipamentos complexos, demandando a organização de diferentes equipes de consultores, ou engenheiros do conhecimento, especializados em áreas específicas de aplicação. O mercado nacional de sistemas de RBC é pouco explorado e oferece um grande potencial. Com o

desenvolvimento dessa ferramenta será possível à criação de modelos de domínios de aplicação reutilizáveis, levando a uma melhoria contínua no processo de construção e implantação de sistemas de RBC a uma maior velocidade na construção e implantação dos sistemas inteligentes.

Como trabalho futuro é proposto que a aplicação desenvolvida seja avaliada, no que diz respeito ao desempenho e o custo de implementação, junto a outras propostas comerciais ou do estado da arte, já que a técnica de RBC já foi utilizada em outras aplicações.

VI. AGRADECIMENTO

O autor agradece ao apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) por meio do seu programa de Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora (DT) e do programa de Formação de Recursos Humanos em Áreas Estratégicas (RHAEE).

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABRAMAN, Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos. Disponível em: <http://www.abraman.org.br> [visitado em: 10/05/2016]
- [2] Althoff, K. D.; Auriol, E.; Barletta, R.; Manago, M. A. *Review of Industrial Case-Based Reasoning Tools*, AI Intelligence, Oxford, UK, 1995.
- [3] Coulon, C. H.; Gebhardt, F. *Evaluation of retrieval methods in case based design*, Fabel-Report 24, GMD, Sankt Augustin, September, 1994.
- [4] Lee, R. W. Pesquisa Jurisprudencial Inteligente. Florianópolis, 1998. Tese (Doutorado em engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção PPGEP/UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [5] Reis, L. A.; Cargnin, M. L. Sddep – Uma Aplicação na Área Médica Utilizando Raciocínio Baseado em Casos. Florianópolis, 1997. Relatório de Estágio (Graduação em Ciência da Computação) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [6] Wangenheim, C. G. V.; Wangenheim, A. V. *Raciocínio Baseado em Casos*. Barueri, São Paulo: Manole. 2003.
- [7] Watson, I. *Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprise Systems*. Morgan Kaufman, 1997.
- [8] Cunha, J. B. F. *Raciocínio baseado em caso: Uma aplicação em manutenção de máquinas e equipamentos*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Rio Grande do Sul, 2002.
- [9] Varma, A. ICARUS: Design and deployment of a case-based reasoning system for locomotive diagnostics. 3rd. International Conference on Case-Based Reasoning, Seon Monastery, Germany. Althoff, K. e Bergmann, R. e Branting, K. eds. Springer Verlag. p. 581-595, 1999.
- [10] Quinlan, R.. C4.5: Programs for Machine Learning. Morgan Kaufmann. 1993.
- [11] Biswas, S. K.; Sinha, N.; Purkayastha, B. A review on fundamentals of case-based reasoning and its recent application in different domains. *International Journal of Advanced Intelligence Paradigms*, v. 6, n. 3, p. 235-254, 2014.