

SIAD SEGMENTOS E A NOVA GERAÇÃO DA MANUTENÇÃO ⁽¹⁾

Cícero Romão Cavati ⁽²⁾

Resumo

O principal objetivo deste trabalho é apresentar a implementação de um Sistema Inteligente de Apoio à Decisão, denominado SIAD Segmentos, para fins de identificação do estado de operação de segmentos de rolos de uma máquina de lingotamento contínuo, da sua previsibilidade e sugestão de tomada de decisão quanto a realização de sua manutenção, bem como de uma demonstração da interação importante do operador ou usuário com o equipamento. A metodologia utilizada é apoiada em lógica difusa e o Sistema SIAD se apresenta como uma ferramenta auxiliar na predição do melhor momento de realizar manutenção preventiva nos rolamentos dos mancais dos segmentos de rolos utilizado na produção de chapas de aço, subsidiando a programação da sua manutenção e evitando conseqüências danosas na operação tal como a quebra de seus rolamentos. Para tanto, considerou-se o segmento 8 da máquina de lingotamento 2 na área da aciaria da Companhia Siderúrgica de Tubarão – CST. Um ambiente computacional com interface amigável, utilizando programação voltada a objetos, foi utilizado para possibilitar tanto o diagnóstico do estado do equipamento quanto a sua previsibilidade de manutenção. A partir dos parâmetros de inspeção do equipamento bem como de suas condições operacionais, o ambiente fornece resultado quanto à decisão da realização de sua manutenção, evitando-se que a mesma venha proporcionar um custo alto de sua manutenção no caso de uma eventual parada obrigatória para efetuar uma intervenção por manutenção corretiva. O ambiente SIAD conta com a facilidade de realizar simulações quanto as possibilidades de suportar determinada condição de operação, tendo facilidades em fornecer e obter dados e ainda na visualização global de todos os parâmetros envolvidos na determinação da vida útil do equipamento.

Palavras-chave: Sistemas Inteligentes, Segmentos, Manutenção Preditiva.

(1) XXXVI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais - Internacional, para o tema: Solidificação / Lingotamento

(2) Professor Dr. em Engenharia Elétrica - Automação pelo Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da UFES - Cavati@ele.ufes.br

1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O desenvolvimento de um Sistema Inteligente de Apoio à Tomada de Decisão (SIAD), para a previsibilidade de manutenção nos mancais dos segmentos de rolos em máquina de Lingotamento Contínuo, envolve uma grande quantidade de variáveis a serem consideradas.

Quando ao principal interesse, este reside na avaliação da vida útil dos segmentos de rolos. Duas principais preocupações são pertinentes, a saber: o desgaste no seu diâmetro e o rompimento dos rolamentos dos seus mancais. Acontece, porém, que a condição natural é que o desgaste do rolo aconteça antes da quebra dos rolamentos de seu mancal. Nesta condição, o acompanhamento, pela equipe de inspeção, do desgaste do seu diâmetro seria o procedimento mais adequado para realizar a previsibilidade de parada para manutenção. Entretanto, dependendo das condições operacionais e da configuração dos apoios dos segmentos de rolos, pode acontecer que esta quebra seja abreviada e venha acontecer antes mesmo do desgaste dos rolos atingir o seu limite crítico. Neste caso, precisa-se identificar as variáveis que serão consideradas na análise da previsibilidade de sua manutenção. Assim, esta previsão se torna uma tarefa complexa. Como consequência, a previsibilidade é caracterizada por uma função não linear que depende da avaliação dos valores dos diversos parâmetros em cada instante de operação do segmento. Em se tratando de identificação particularmente do momento de quebra dos rolamentos dos mancais, vários parâmetros são necessários considerar para que se possa inferir este valioso conhecimento, ou seja, a previsibilidade de operação do equipamento para uma determinada produção de uma família de aço, sem que haja prejuízo ao processo de produção e a manutenção.

Os valores e informações dos parâmetros devem ser obtidos a partir dos planos de inspeção dos segmentos da manutenção, dos relatórios operacionais da operação e das condições de fabricação do aço fornecidas pela equipe de metalurgia. Entretanto, uma tarefa difícil é a escolha de quais parâmetros deverão ser considerados para realizar esta inferência. Neste trabalho, para a obtenção da previsibilidade, foram desenvolvidas várias atividades envolvendo entrevistas com especialistas, supervisores e inspetores e ainda o acompanhamento operacional e de manutenção relativos aos segmentos de 08 a 14 da máquina do contínuo.

Basicamente a atuação foi desenvolvida envolvendo: os parâmetros do plano de inspeção dos segmentos, as variáveis e em parâmetros de processo e condições de operação. Além disso, foi necessário avaliar também as ocorrências nos relatórios operacionais.

Embora seja desejável ter parâmetros preditivos nos planos de inspeção para realizar a inferência da previsibilidade, particularmente o plano de inspeção dos segmentos, que este trabalho se ateve, só traz informações sensitivas e na sua maioria não produz outra informação que possa levar a inferir esta previsibilidade, ou seja, a perda de vida dos rolamentos dos mancais dos seus segmentos. Para que pudéssemos ter parâmetros preditivos seria necessário medir, por exemplo, alguns parâmetros tais como a rotação, refrigeração, temperatura e carga dos mancais dos segmentos de rolos.

Uma outra fonte importante de informações é o *Gap Erro Results* que Fornece informação de desgaste dos rolos bem como indicação de carga nos mancais. Além disso, o relatório de segmentos retirados de linha do mês também fornece informações interessantes quanto à previsibilidade de quebra prematura dos rolamentos dos mancais. O empeno, o desalinhamento, amassamento, espaçamento e a passagem de barra falsa também precisam ser considerados na composição dos fatos. Assim, visando subsidiar a previsão da manutenção nos

segmentos e a sua melhoria, alguns dados preditivos envolvendo o conjunto – segmentos de 8 a 14 - devem ser disponibilizados.

Após a escolha e a aquisição dos parâmetros a serem considerados na análise da previsibilidade é indispensável que se tenha uma ferramenta de suporte a tomada de decisão que possa fazer uma correlação de todos estes parâmetros com a vida útil dos segmentos. Assim, para o tratamento dos valores destes parâmetros e para o estabelecimento desta correlação para fins da previsibilidade do melhor momento de realizar a manutenção, faz-se necessário ter a disponibilização de uma ferramenta avançada, tal como a denominada SIAD – Sistema Inteligente de Apoio a Decisão.

A Figura 1 mostra uma curva de esforço de carga em um dos segmentos da máquina de lingotamento contínuo.

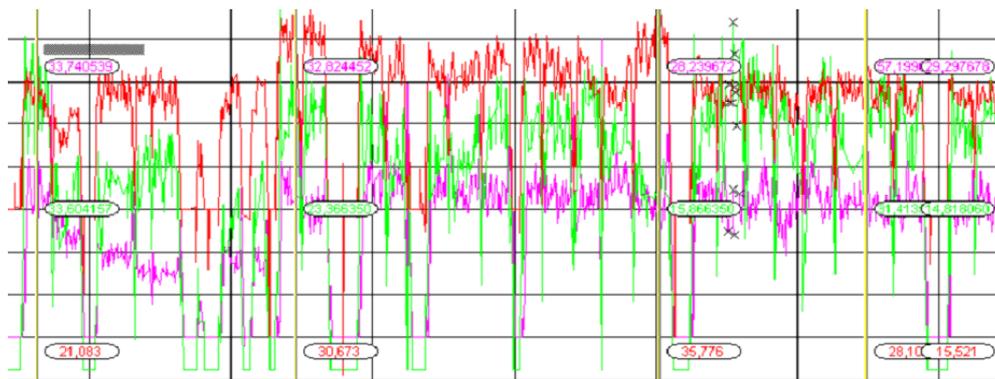


Figura 1. Esforços em segmentos de Máquina de Lingotamento 2

O processo de fabricação de placas começa quando uma panela é girada, a qual contém o aço líquido, colocando-a na posição para que o distribuidor possa recebê-lo, enchendo-o até encher certo ponto para então descer para o molde. A partir daí começa a lingotar. Durante a troca do distribuidor é criada uma emenda na placa e cargas adicionais são transferidas para os mancais devido à necessidade redução drástica da velocidade de produção, que chega a próxima de zero m/s. A complexidade do problema aumenta quando se tem uma máquina que pode operar com diversas espessuras e tipos de famílias de aço, envolvendo velocidades diferentes e pontos de solidificação também diferentes ao longo da máquina. Estas baixas velocidades causam um maior esforço nos mancais. Outro tipo de esforço mecânico no segmento, que influencia na quebra precoce dos rolamentos, é o peso da própria placa e a inércia do aço quando a placa passa entre os rolos comprimidos. Assim a carga é o ponto crítico. Como a região de solidificação do aço acontece geralmente a partir do segmento 8, há uma tensão maior nos segmentos da parte reta do que os segmentos da parte curva. Com isso o valor total da carga em cima dos mancais dos rolamentos depende de tudo isso, e em particular da carga radial.

A velocidade é de acordo com o ponto de solidificação e do fluxo de produção. Assim para aumentar a velocidade, seria preciso alterar o sincronismo operacional, para que o ponto de solidificação acontecesse mais tarde, ou seja, nos segmentos 8 e 9 e assim obter um menor esforço nestes segmentos. Porém, a logística de operação envolve o sincronismo de chegada da panela, da torre, da panela em tratamento, etc. Assim, somente com um bom sincronismo operacional poder-se-ia estipular uma velocidade maior que 1 m/s. Evidentemente, é preciso ter neste caso uma boa administração da operação e seu aperfeiçoamento contínuo.

Pelos fatos acima expostos, o comportamento dos rolos é crítico e somente um SIAD pode ser capaz de extrair correlações fundamentais que venham ser utilizadas para a inferência do conhecimento derivado e desejável.

2 METODOLOGIA DO SIAD

A manutenção preventiva vem sendo melhorada com a introdução de RCM e TPM dando origem à manutenção preditiva, mas que de fato é a manutenção preventiva com recursos disponíveis de tendência. RCM e TPM são técnicas úteis para identificação dos problemas de gestão de ativos, mas que por si só não é o suficiente para se ter verdadeiramente a sua previsibilidade. Com isso, podemos constatar que as técnicas de tendências significaram um avanço considerável. Entretanto, o aperfeiçoamento da manutenção preditiva só acontecerá de fato com a incorporação da gestão do conhecimento que requer tecnologia moderna para que se possa alcançar o gerenciamento desejável do ciclo de vida útil operacional dos equipamentos. O SIAD, tecnologia baseada em conhecimento, traz a previsibilidade desejável dos ativos de uma empresa.

Durante o 2º. Congresso Mundial de Manutenção, segundo o conferencista Adolfo Arata Andreani, do Instituto internacional para *la Innovacion Empresarial*, é preciso utilizar sistemas de apoio à decisão para que as decisões tomadas sejam apoiadas em tecnologia e não apenas na sensibilidade do tomador de decisão. E ainda, o Diretor de Manutenção do Metro de Madri e professor da Universidade Carlos III e da UNED, Eng. Javier Gonzáles Fdez concorda que os SIADs constituirão na próxima geração da gestão da manutenção, afirmação feita ao final de sua conferência. Ele acrescenta afirmando que para se incorporar inteligência, conhecimento e inovação, requer utilizar tecnologia e o SIAD vem fazer este aperfeiçoamento.

É fato que não se conhece até o momento, de forma analítica, como a vida útil de um equipamento se deteriora em função de seus parâmetros operacionais. Isoladamente, quando se considera apenas um parâmetro, para acompanhamento histórico de seus valores, existe a possibilidade de inferir a previsão de seu ciclo de vida útil, tal como, avaliando-se a influência dos efeitos da temperatura. Ou seja, é possível em alguns casos estimar analiticamente, por exemplo, como a elevação da temperatura afeta a vida útil do equipamento.

O sucesso de desenvolvimento de modelos, para um projeto de resolução de problemas de previsibilidade, em gestão de manutenção de equipamentos, depende das tarefas (condições operacionais e de carga) processadas pelo equipamento, da equipe de manutenção envolvida e da tecnologia utilizada para formatar os dados, das informações usadas pelos equipamentos e do conhecimento dominante pelos profissionais envolvidos na equipe. A Figura 2 mostra o tripé utilizado para sustentação dos SIAD's – Sistemas Inteligentes de Apoio a Decisão.

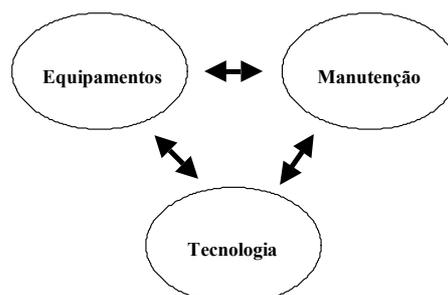


Figura 2. Interação na gestão da manutenção

Isto quer dizer que diferentes profissionais e diferentes tarefas desenvolvidas por equipamentos podem necessitar de representações diferenciadas para a sua formatação e conseqüentemente obtenção de novas inferências. Embora esta afirmação possa parecer óbvia, na literatura especializada não se tem apresentado facilmente modelagem de solução de problemas para a gestão de manutenção.

Em se tratando de falha de algum componente de um certo equipamento, o conhecimento é a ferramenta alvo para evitar a falha ou para diagnosticar e apresentar soluções quando de sua ocorrência. Para isso, faz-se necessário dispor de pessoal experiente e também de pessoal com tecnologia, para juntos alcançarem este propósito. É preciso, pois, valorizar o conhecimento e a experiência juntos.

Geralmente os profissionais possuem suas particulares experiências desenvolvidas num tempo variado, que são válidas apenas para situações particulares e para certas atividades, dentro de alguns e específicos estudos de projeto. Ou seja, existe um ambiente com características vagas e aleatórias, onde os profissionais experimentam as suas oportunidades, não tendo chance de formatar o seu aprendizado pela inexistência de ferramentas tecnológicas apropriadas. Além disso, há a idéia de que o conhecimento adquirido é de propriedade exclusiva dele mesmo, e a sua disponibilização passa a ser, no mínimo, um desconforto para a sua permanência na função. Quando não se formata o conhecimento, também não se infere novos conhecimentos, e ao final todos acabam desperdiçando novas oportunidades, não disseminando conhecimento e impedindo que haja inovação no processo. Para que a experiência adquirida seja aproveitada dentro da empresa, necessário se faz lançar mão dos SIAD's – Sistemas Inteligentes de Apoio a Decisão.

De igual forma, geralmente os equipamentos desenvolvem diferentes tarefas e as suas condições de carga e condições operacionais são diversificadas, podendo ter representações diferentes. Quando nos referimos às condições de carga, estamos relacionando as condições de atendimento àquelas necessárias para o seu funcionamento. Por outro lado, as condições operacionais estão relacionadas à satisfação das condições suficientes, que estes equipamentos estão sendo submetidos, ao longo de seu ciclo de vida, conforme mostrado na Figura 3.

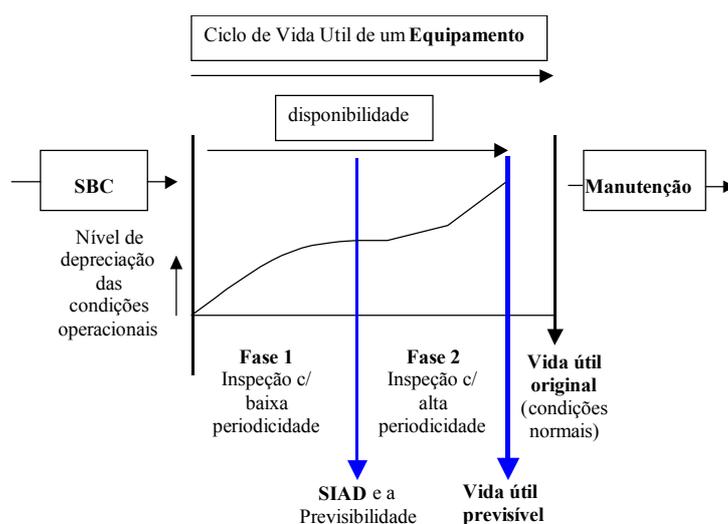


Figura 3. Ciclo de Vida Útil e o SIAD

Portanto, para um determinado equipamento, deseja-se que as restrições de carga sejam atendidas e que as suas restrições operacionais sejam satisfeitas. Quando

isto acontece dizemos que o equipamento está operando no estado normal e a previsibilidade de uma intervenção para realizar a sua manutenção preventiva ou corretiva é aquela sugerida pelos seus fabricantes ou pelos planos de manutenção preventiva. No entanto, nem sempre este conjunto de restrições caracteriza a designação do estado normal do equipamento e nestes casos é preciso inferir um novo momento, geralmente definido por um período de tempo menor, devido à severidade da condição de operação, expresso em um novo ciclo de vida do equipamento, durante o qual seja pelo menos garantido que o equipamento irá continuar em condições de operação, mesmo com depreciação do seu ciclo de vida original, ou seja, sem necessidade de intervenção não programada. Para isso, faz-se necessário dispor de um SBC – Sistema Baseado em Conhecimento para formatar estas condições e fazer a previsibilidade. Os SIAD's – Sistemas Inteligentes de Apoio a Decisão é um SBC que vem se apresentando como uma ferramenta tecnológica apropriada para este fim. A Figura 4 mostra como a severidade das condições operacionais está relacionada com a sua correspondente depreciação de ciclo de vida útil.

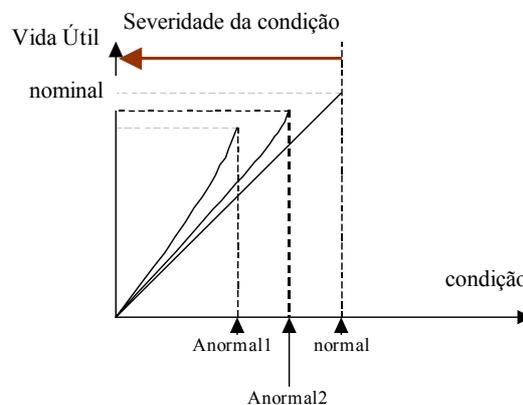


Figura 4. Depreciação do ciclo de vida

Observe-se que à medida que condições anormais são mais críticas, o ciclo de vida útil do equipamento é menor. Por outro lado, quando as condições normais são contínuas, a expectativa de ciclo de vida útil é pelo menos a nominal do equipamento, podendo ser este ciclo estendido ou prolongado em situações de maior performance do equipamento. A partir desta constatação, pode-se inferir analiticamente o quanto um ciclo de vida útil é depreciado. O SIAD faz exatamente isso, ou seja, a partir de um ciclo de vida original esperado para um equipamento, o SIAD mensura a quantidade de perda de vida útil e a conseqüente vida útil restante deste equipamento, não somente levando em consideração apenas um parâmetro, mas todos aqueles disponíveis e que diretamente influenciam na sua vida útil.

A metodologia desenvolvida no SIAD utiliza um SBC com característica difusa e apoiada na teoria de *Fuzzy Sets*.

Várias etapas foram vencidas para que chegássemos ao desenvolvimento do SIAD segmentos, a saber:

- aquisição de dados e informações;
- modelagem dos parâmetros de entrada e saída;
- definição da matriz de conhecimento do processo; e
- desenvolvimento da interface.

Basicamente a atuação referente ao desenvolvimento do SIAD Segmentos foi desenvolvida envolvendo: Plano de inspeção dos segmentos, variáveis de processo e parâmetros e condições de operações. Além disso, foi necessário avaliar as ocorrências nos relatórios operacionais.

A aplicação do SIAD possibilita, as unidades gerenciais de manutenção, programar e planejar toda manutenção, garantindo economizar componentes e recursos necessários em tempo apropriado. Como resultado, obtém-se a redução de custos de reparação, horas trabalhadas e perda de produção devido à utilização de pouco tempo para o planejamento. Conseqüentemente, pode-se assegurar um aumento da qualidade do trabalho que é refletido num aumento da produção e maior retorno do investimento realizado num menor tempo.

Com a tecnologia utilizada na ferramenta SIAD, pode-se avaliar diferentes tipos de equipamentos e detectar problemas antecipadamente. Com disso, a indústria que assim vier proceder, pode economizar muito por causa da redução dos custos de manutenção e do aumento da produtividade. Finalmente, estas indústrias se tornam reconhecidas em todas as partes, porque acabam possuindo trabalhadores mais preparados e oferecem serviços técnicos diferenciados.

Resumidamente, neste trabalho é sugerida uma abordagem dinâmica para desenvolver principalmente estratégias de determinação do ciclo de vida útil de um equipamento, considerando as diversas condições operacionais difusas que são submetidas aos segmentos de rolos.

Finalmente, neste trabalho, apresenta-se o resultado do desenvolvimento de um Sistema Inteligente de Apoio à Tomada de Decisão (SIAD), utilizando lógica difusa, na forma de uma ferramenta auxiliar na predição do melhor momento de realizar manutenção preventiva nos rolamentos em mancais dos segmentos de rolos utilizado na produção de chapas de aço, subsidiando a programação da manutenção evitando conseqüências danosas na operação, tal como a quebra de rolamentos nos mancais dos segmentos de rolos.

3 OS RESULTADOS DO AMBIENTE SIAD SEGMENTOS

O SIAD Segmentos é um ambiente computacional desenvolvido em linguagem voltada a objetos, utilizando programação C++, para possibilitar a avaliação do estado de operação em que se encontram os segmentos, para a sugestão de tomada de decisão quanto a sua retirada de operação e para o planejamento da execução dos serviços de manutenção preventiva. Assim, o ambiente computacional SIAD Segmentos é composto por duas partes que permitem fazer tanto o diagnóstico em que se encontra o estado do equipamento como também a avaliação da decisão a ser tomada e ainda a indicação do planejamento de sua execução, em caso de manutenção, podendo vir a ser utilizado tanto no treinamento de profissionais de manutenção e operação como na simulação ou ainda como ferramenta auxiliar nos processos de acompanhamento da manutenção.

O SIAD Segmentos é composto de uma tela principal na qual se tem acesso aos diversos parâmetros de entrada tanto para os parâmetros sensitivos como para os parâmetros determinísticos. Os resultados de saída também são apresentados nesta mesma interface sendo subdivididos em três partes: Estado do Conjunto, Sugestão de Decisão e Indicação de Previsibilidade de vida útil, conforme Figura 5.

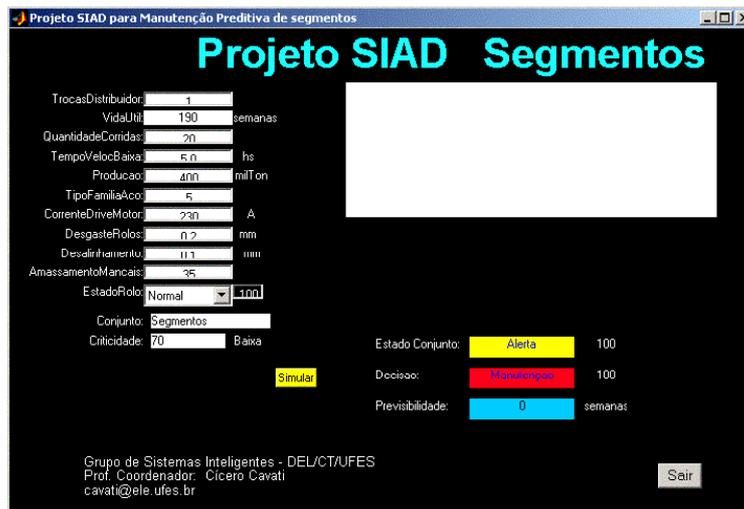


Figura 5. Interface do SIAD Segmentos.

4 A ESTRUTURA DO SIAD

Após a definição de todos os parâmetros que serão tratados no SIAD, um processo de fuzificação passa a ser processado dentro do SIAD formando uma base de fatos para que se possam ter condições de tratamento pela máquina de inferência do SIAD, conforme ilustrado na Figura 6.

O SIAD faz esta interferência a partir de uma base de conhecimento, formatada na forma de uma matriz, previamente descrita pelos especialistas. Esta matriz de conhecimento retrata o comportamento operacional do equipamento, sendo os seus parâmetros correlacionados entre si, na forma de uma sentença escrita sempre utilizando uma regra de produção da forma: **Se ... Então ...**. A premissa da sentença denota fatos que ativam ou não o seu conseqüente.

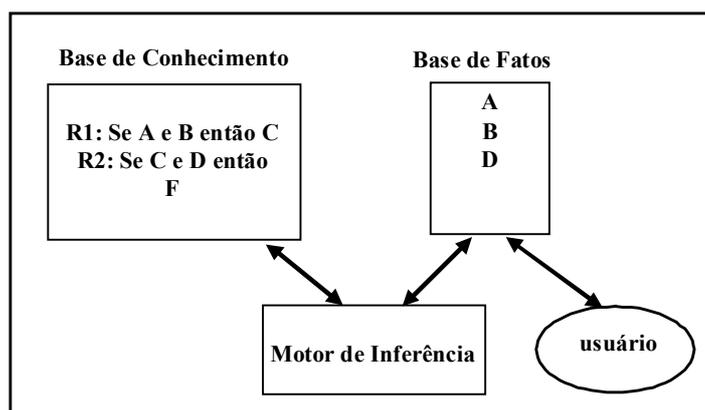


Figura 6. Sistema de Inferência do SIAD

A composição das diversas parcelas de contribuição geradas no conseqüente da sentença é defuzificada para então formar a região de previsibilidade da manutenção. Com aplicação de operadores apropriados, obtêm-se o valor correspondente as ações ativadas de todos os parâmetros. Conseqüentemente, o estado, a decisão e a previsibilidade são finalmente inferidos.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de uma ferramenta chamada SIAD Segmentos utilizando tecnologia moderna, na qual vem auxiliar aos profissionais de manutenção mecânica na sua tomada de decisão de segmentos da Máquina de Linotamento Contínuo da área de Aciaria da CST. O SIAD também está sendo estendido a diversos outros tipos de equipamentos visando tornar-se um instrumento On-Line e integrado ao Sistema de Gerenciamento da Manutenção conhecido por SISMANA para disponibilizar a previsibilidade de manutenção.

O tratamento proporcionado pelo SIAD, tanto aos dados como às informações, feito ao mesmo tempo, é uma das grandes vantagens de se utilizar sistemas inteligentes. Este tipo diferencial de tratamento não é comum nos demais sistemas de informações.

A aplicação destas técnicas modernas juntamente com a utilização do SIAD possibilita as gerências das áreas de manutenção programar e planejar toda manutenção, garantindo economia e recursos necessários em tempo apropriado. Como resultado, obtém-se redução de custos de reparação, horas trabalhadas e perda de produção devido à utilização de pouco tempo para o planejamento. Além disso, assegura-se um aumento da qualidade do trabalho que é refletido num aumento da produção e maior retorno do investimento realizado num menor tempo. Podemos afirmar que a manutenção preditiva é a mais recente tipo de manutenção usada em plantas industriais e a que tem dado melhores resultados, seja para o processo de produção ou para o seu próprio corpo técnico. O SIAD Segmentos surgiu com a finalidade de propiciar estes melhores resultados.

Agradecimentos

O autor agradece em particular ao Eng. Manoel Barreto do IDU/CST pela sua contribuição valiosa e ao apoio a idéia original deste projeto. O autor ainda agradece a colaboração dos especialistas José Carlos e André da IUAL que participaram deste projeto e em especial aos Eng Fábio Sanchotene, Denis, Sérgio Rangel e Sérgio Mattedi do IDE pela valiosa contribuição.

BIBLIOGRAFIA

- 1 CAVATI, C. R. Interação inteligente universidade empresa às portas do novo milênio. **Revista Engenharia Ciência e Tecnologia do Centro Tecnológico**, UFES, v. 2, n.10, p. 56-64, 1999.
- 2 CAVATI, C.R.; FUZZY, A. Decision making for the distribution systems planning. In: POWERCON 98, 1988, Beijin, China. **Proceedings...**
- 3 BELLMAN, R.E.; ZADEH, L.A. Decision making in a fuzzy environment management science. **Management Science**, v.1, n.2, 141-164, 1970.
- 4 CAVATI, C.R. SIADs. **Revista de Manutenção da Abraman**, v.2, n.94, p.16-18, set.-out. 2003.
- 5 CAVATI, C.R. A decisão inteligente e os seus estilos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 35., 2003, Natal. **Anais...**
- 6 CAVATI, C.R. Calculadora inteligente. **Revista Engenharia Ciência & Tecnologia**, v. 5, n. 4, p. 5-8, Jun./Jul. 2002.
- 7 CAVATI, C.R. A importância da manutenção preditiva. **Revista de Manutenção da Abraman**, v.4, n.19, p.23-26, nov.-dez. 2003.
- 8 CAVATI, C.R. A evolução da manutenção e os SIADs. In: CONGRESSO MUNDIAL E MANUTENÇÃO, 2., 2004, Curitiba. **Anais...** Local de publicação: editora, ano. p.inicial-p.final

SIAD HOT STRIP MILL AND THE NEW GENERATION OF PREDICTIVE MAINTENANCE

Abstract:

The main goal of this work is to present the development of a general Decision Support Intelligent Systems, called as *SIAD Hot Strip Mill*, applied on fuzzy logic for any type of manager in which it is important to consider the intuitive aspects of the decision maker. In order to reach this goal, firstly it is considered the reasons of the decision maker to select its chose. Then, it was modeled the compartmental process of this decision maker by associating to a mathematical model applied in fuzzy logic. The SIAD is an auxiliary tool in order to predict the best time of take out the equipment to realize its maintenance on split roller. So The SIAD can be considered an important tool for programming maintenance, avoiding in this case, damage in its operation.

Key-words: Intelligent System, Segments, Predictive Maintenance.