

Brasília, 29 de novembro de 2006.

## **RELATÓRIO DE ATIVIDADES DE PROJETO DE PESQUISA**

Novembro/2006

**Edgar Jhonny Amaya Simeón**

FINATEC

ELETRONORTE

Universidade de Brasília – UnB

### **1. Objetivo**

Apresentar o trabalho feito nos três primeiros meses no projeto de pesquisa que é parte integrante do projeto de modernização da área de automação de processos da usina hidrelétrica de Balbina, desenvolvido pelo programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico da empresa de geração e transmissão de energia elétrica, ELETRONORTE, em parceria com a FINATEC e UnB.

### **2. Atividades realizadas**

Podem ser listadas as seguintes atividades específicas:

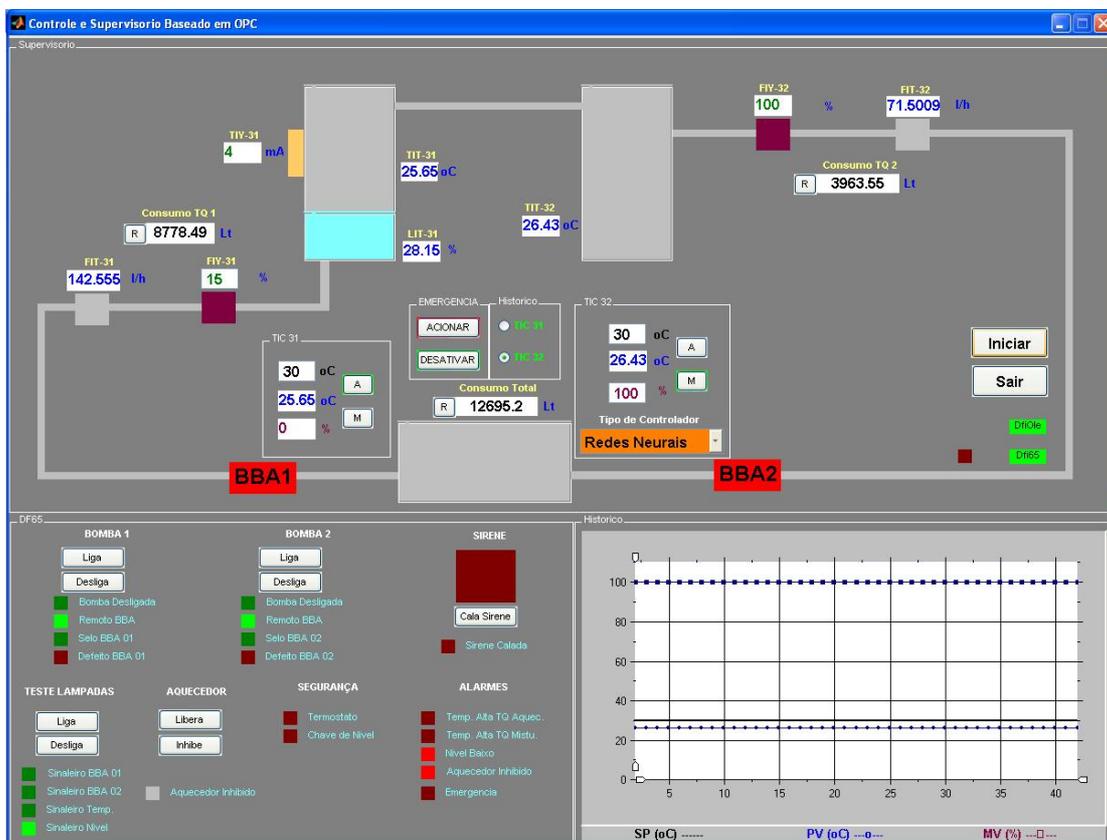
- ✓ Estudo do diagrama organizacional de hierarquia dos equipamentos, subsistemas e componentes, indicando as fronteiras e interfaces entre os subsistemas.
- ✓ Análise do FMEA - Análise de Modos e Efeitos de Falhas - associado ao sistema da turbina da unidade geradora hidráulica 01 de Balbina.
- ✓ Análise da Árvore de Falhas relacionando falhas primárias à falha final do sistema (corte de carga).
- ✓ Análise do sistema por diagrama de blocos, com o cálculo de medidas de confiabilidade, disponibilidade, MTBF, taxa de falhas, número esperado de falhas, frequências e taxas de risco.
- ✓ Estudo das ferramentas de aquisição de dados para implementação do sistema inteligente via OPC usando o software Matlab 7.0
- ✓ Visitas à ELETRONORTE para coleta de dados e aquisição de material referente ao funcionamento da Usina de Balbina.
- ✓ Implementacion de Controle avançado tais como Redes Neurais na planta didatica 3 da Smar nos dispositivos Fieldbus usando o Servidor OPC.
- ✓ Utilização dos softwares disponiveis com a planta tais como Logic View, Syscon, Process View, Asset View.

- ✓ Estudo e elaboração dos casos de uso UML usando o software JUDE para o sistema I-Kernel um sistema Inteligente para o SIMPREBAL sistema de manutenção Preditiva de Balbina.
- ✓ Elaboração de o Paper submetido ao CAIP2007 o congresso de computação aplicada 2007

O entendimento do sistema, de suas condições de operação e de seus dados de manutenção foi possível a partir do relatório que já foi desenvolvido e apresenta toda a descrição do projeto, bem como o estudo de literaturas específicas da área.

### 3. Comunicação Via OPC do Matlab com a Planta Didatica 3 da Smar

A continuação apresento o trabalho eito em entorno Matlab usando comunicação via Servidor OPC quem disponibiliza os dados da planta didatica da smar e fazendo o tratamento das sinais obtidas atravez das TAGs do processo, analize de tendencias é o controle por redes neurais que apois deste trabalho vai dar uma maior visão para elaboração do sistema SIMPREBAL para Manutenção preditiva da Usina Hidreletrica de Balbina.



# Anexo 1

## Paper SUBMETIDO ao CAIP2007

### Sistema de Manutenção Baseada Em Condição Para Usina Hidrelétrica de Balbina

**Alberto José Álvares<sup>1</sup>, Edgar Amaya Simeón<sup>1</sup>, Rosimarci Pacheco Tonaco<sup>1</sup>**

(1) Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Curso de Sistemas Mecatrônicos. Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900 – Asa Norte – Brasília – DF, Brasil. ([alvares@AlvaresTech.com](mailto:alvares@AlvaresTech.com), [eamaya@unb.br](mailto:eamaya@unb.br), [rosimarci@hotmail.com](mailto:rosimarci@hotmail.com))

#### RESUMO

A metodologia foi desenvolvida no contexto do projeto Modernização da Área de Automação de Processos das Usinas Hidrelétricas de Balbina e Samuel, onde o objetivo é o desenvolvimento de um sistema inteligente de manutenção preditiva da usina de Balbina. A metodologia SIMPREBAL é baseada em conceitos de manutenção centrada em confiabilidade, sendo utilizada para analisar os modos e efeitos de falhas das Unidades Geradoras Hidráulicas de Balbina a partir das grandezas monitoradas pelo sistema de supervisão e controle da Usina, focando a sua análise no sistema da Turbina. A metodologia proposta é genérica, podendo ser utilizada também no sistema do Gerador. O objetivo é conceber uma metodologia para coleta e análise de dados monitorados nas unidades geradoras da usina de Balbina, e a implementação de um sistema computacional com vistas à produção de diagnósticos de estados de funcionamento e de dados que auxiliem a tomada de decisão quanto às ações operacionais e de manutenção das máquinas, visando o aumento da disponibilidade dos equipamentos.

#### INTRODUÇÃO

Conforme definido por Giacommet (2001, p.27), “manutenção é toda ação realizada em um equipamento, conjunto de peças, componentes, dispositivos, circuito ou estrutura que se esteja controlando, mantendo ou restaurando, a fim de que o mesmo permaneça em operação ou retorne a função requerida”, ou seja, o conjunto de condições de funcionamento para o qual o equipamento foi projetado, fabricado ou instalado.

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

Para realizar o processo de manutenção existem alguns tipos de ferramentas de manutenção. Dentre elas pode-se citar:

1. Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): visa racionalizar e sistematizar a determinação das tarefas adequadas a serem adotadas no plano de manutenção, bem como garantir a confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos e instalações com menor custo.

2. Manutenção Preditiva: manutenção baseada em condição (contínua e periódica), a partir das grandezas monitoradas por um sistema de supervisão e controle, complementada por informações de inspeções periódicas, para realizar o diagnóstico e o prognóstico de falhas.
3. Manutenção Proativa: a literatura relata dois tipos de prognóstico de máquinas. O primeiro e mais usual é chamado de Vida Útil Remanescente (vida residual) e refere-se à observação ao longo do tempo antes que uma falha ocorra, tendo como referência a idade da máquina, a sua condição e o perfil de operação passado. É similar ao diagnóstico utilizando abordagens estatísticas, Inteligência Artificial (IA) e abordagens baseadas em modelo. A segunda técnica de prognóstico incorpora políticas de manutenção, sendo chamada neste caso de manutenção baseada em monitoração (CBM). A principal idéia do prognóstico incorpora políticas de manutenção para otimização de acordo com certos critérios como risco, custo, confiabilidade e disponibilidade.

### Modelo de Referência Usado para Manutenção Baseada em Condição

O modelo OSA-CBM (*Open System Architecture for Condition Based Maintenance*) será utilizado como referência para o desenvolvimento do sistema de manutenção inteligente baseado em condição, maiores detalhes sobre o modelo, podem ser encontrados no site <http://www.osacbm.org>.

A arquitetura OSA-CBM consiste em sete camadas (fig. 1). A noção de uma arquitetura estendida em camadas usada aqui é consistente com o conceito usado em Buschman (1996). Uma camada é vista como uma coleção de tarefas semelhantes ou funções em níveis diferentes de abstração.



Figura 1 – Arquitetura OSA-CBM e suas 7 camadas.

As camadas hierárquicas representam uma transição lógica ou um fluxo da saída dos sensores para a camada de tomada de decisão, através das camadas intermediárias. A camada de apresentação é uma exceção dentro da arquitetura, pois permite comunicação ponto-a-ponto entre esta camada e qualquer outra.

A seguir será apresentado um exemplo das sete camadas estudando o caso do mancal guia do sistema da turbina e como estas se ajustam ao sistema SIMPREBAL em desenvolvimento:

## ESTUDO DE CASO: MANCAL GUIA DO SISTEMA DA TURBINA

Esta seção apresenta uma breve explicação sobre os mancais do grupo turbina-gerador, bem como, um estudo de caso utilizando como exemplo o mancal guia da turbina. O mancal guia do sistema da turbina é responsável por suportar o empuxo radial do eixo da turbina evitando que a vibração causada pela água possa deslocá-la, acarretando problemas ao sistema.

O arranjo dos mancais do grupo turbina-gerador (ver figura 2) é o seguinte:

- O mancal de guia da turbina é colocado próximo à extremidade inferior do eixo, na tampa superior e compatível com o arranjo e o acesso à vedação do eixo;
- O mancal de escora é suportado por uma estrutura cônica apoiada na tampa superior;
- O mancal de guia do gerador será locado imediatamente acima do rotor do gerador, no centro da aranha superior do gerador, cujo peso deve ser suportado pela carcaça do estator, mas as forças radiais do mancal devem ser suportadas pela estrutura de concreto.

Com este arranjo, o peso das partes girantes do grupo turbina-gerador mais o empuxo hidráulico vertical serão transmitidos pelo mancal de escora, através da estrutura cônica, à tampa superior e por esta, através do pré-distribuidor.

O conjunto do Mancal Guia da turbina é constituído de:

- Mancal de casquilho bi-partido em aço carbono com deposição de metal patente;
- Sistema de troca de calor em forma de serpentina.

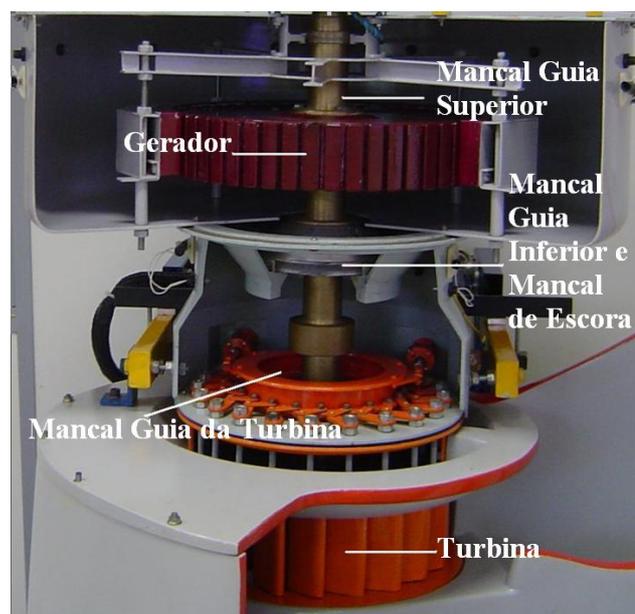


Figura 2 – Maquete do Sistema Turbina – Gerador.

A figura 3 apresenta a Arquitetura OSA-CIM e suas 7 camadas adaptadas para o problema em questão.

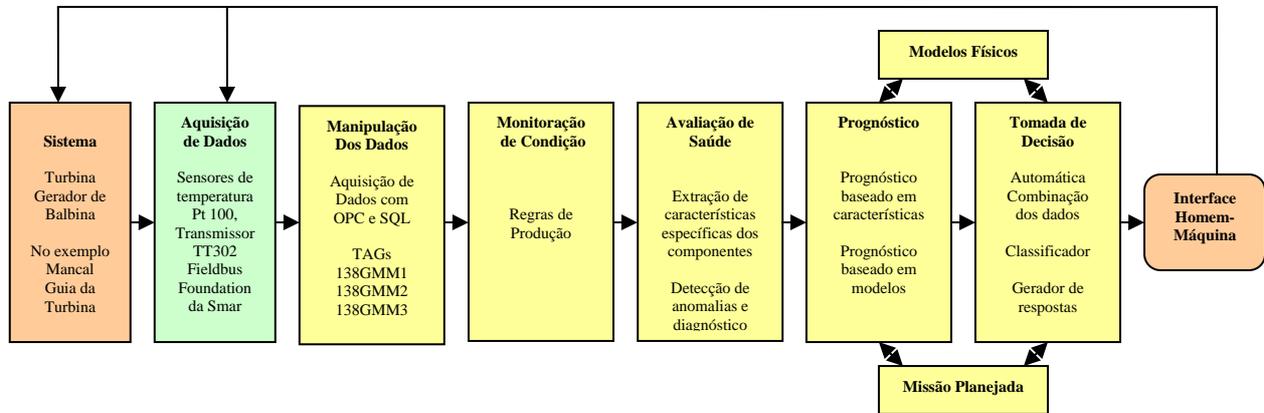


Figura 3 - Adaptação das 7 camadas OSA-CIM para o Sistema Inteligentes.

O módulo sensor é responsável por adquirir do sistema os dados necessários para o processamento da informação relativo ao mancal guia da turbina no exemplo analisado. Tais dados são disponibilizados pelos TAGs de cada equipamento. Uma vez adquirido os dados necessários, o módulo responsável pela manipulação dos mesmos executará a tarefa de pré-processamento (conversão de valores contínuos para valores discretos, por exemplo), extração da características importantes para o processo de raciocínio e posterior geração da base de dados com base nas informações conseguidas nas etapas anteriores. O módulo responsável por monitorar as condições do sistema da turbina, visa alertar para possíveis variações que possam causar danos ao processo. Essa monitoração é feita usando regras de produção. Um exemplo de regras de produção pode ser visto na figura 4.

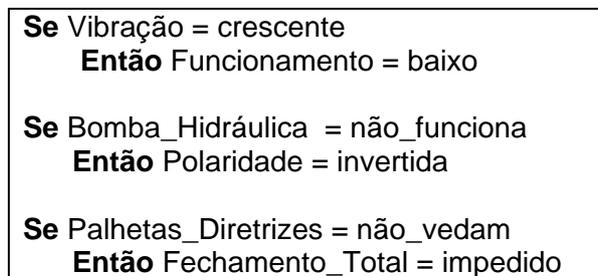


Figura 4 – Regras de produção para monitoramento de controle.

A avaliação da saúde do equipamento ocorre através da extração das características de cada equipamento e posterior detecção de anomalias e diagnósticos dos mesmos (ver figura 5). Para tanto, deve-se criar um conjunto de regras (ver figura 4) de produção que seja capaz de expressar e avaliar a condição atual do equipamento, evitando desta forma uma possível falha/falta. Em seguida, um prognóstico é sugerido a partir das informações dos módulos anteriores. Este pode ser baseado em modelos pré-estabelecidos ou feito considerando as características encontradas na avaliação de saúde. Uma vez sugerido o prognóstico, pode-se iniciar a etapa de tomada de decisão. Nesse módulo o sistema inteligente apresenta algumas sugestões para a solução do problema, cabe ao usuário tomar a decisão mais aplicada. Para permitir a comunicação entre

homem e máquina, uma interface intuitiva será elaborada. Isto visa facilitar o entendimento do processo que estará sendo executado pelo sistema inteligente.

Falha	Causa provável	Solução
Vibração crescente	Funcionamento com cargas abaixo do nominal.	Evitar que a unidade geradora funcione por tempo demasiado com cargas baixas.
Bombas hidráulicas não funcionam.	Polaridade invertida. (Nem todas as bombas admitem rotação em ambos os sentidos)	Inverter a polaridade do motor elétrico.
Palhetas diretrizes não vedam devidamente.	Algum detrito está impedindo o fechamento total das palhetas.	Abrir e fechar as palhetas por controle manual para facilitar a passagem dos detritos pelas palhetas.

Figura 5 – Possíveis dificuldades de funcionamento.

Uma vez definida as funções do sistema utilizando as sete camadas do modelo OSA-CIM, pode-se definir os módulos das camadas para o sistema de resfriamento do mancal guia da turbina, o componente tem três sensores de temperatura TT302 suas TAGs são: 138GMM1, 138GMM2, 138GMM3.

Aplicando as sete camadas para o Sistema de resfriamento, tem-se:

1. **Módulo de sensor:** A aquisição de dados, no presente trabalho corresponde a obtenção dos TAGs referentes a cada equipamento, é feita via OPC e/ou SQL para TAGs da instrumentação Fieldbus/Smar e Rockwell. No caso de estudo os sensores de temperatura usados são dispositivos termoresistentes Pt100 e o transmissor é TT302 Fieldbus Foundation da Smar, System 302. Tendo-se três sensores e transmissores deste tipo.
2. **Processamento de sinal:** O sistema deve acessar os dados da Usina de Balbina a partir dos Bancos de Dados SQL utilizados pelo Sistema de Monitoramento de Balbina, ou diretamente à instrumentação Fieldbus e Rockwell por meio dos servidores OPC, sendo que estes disponibilizam as informações on-line dos equipamentos. Para obtenção das variáveis on-line via OPC pode-se utilizar o Matlab usando o OPC toolbox, desenvolvendo um programa para aquisição das TAGs necessárias pra avaliação dos equipamentos, e gerar o código Matlab para C/C++ e uma interface C/C++ com Java através de JNI (*Java Native Interface*). Outra opção é usar OPC-JNI sem usar o Matlab (Figura 6). No caso de estudo tem-se os TAGs 138GMM1, 138GMM2, 138GMM3. Os valores das TAGs são amostrados em formato numérico ao software de avaliação. Suas TAGs de alarme ALM / HI (80°C) e TRIP / HIHI (85°C) são 138GMM1A, 138GMM1TA, 138GMM2A, 138GMM2TA, 138GMM3A e 138GMM3TA respectivamente. A figura 6 apresenta a visão geral dos módulos do sistema proposto.

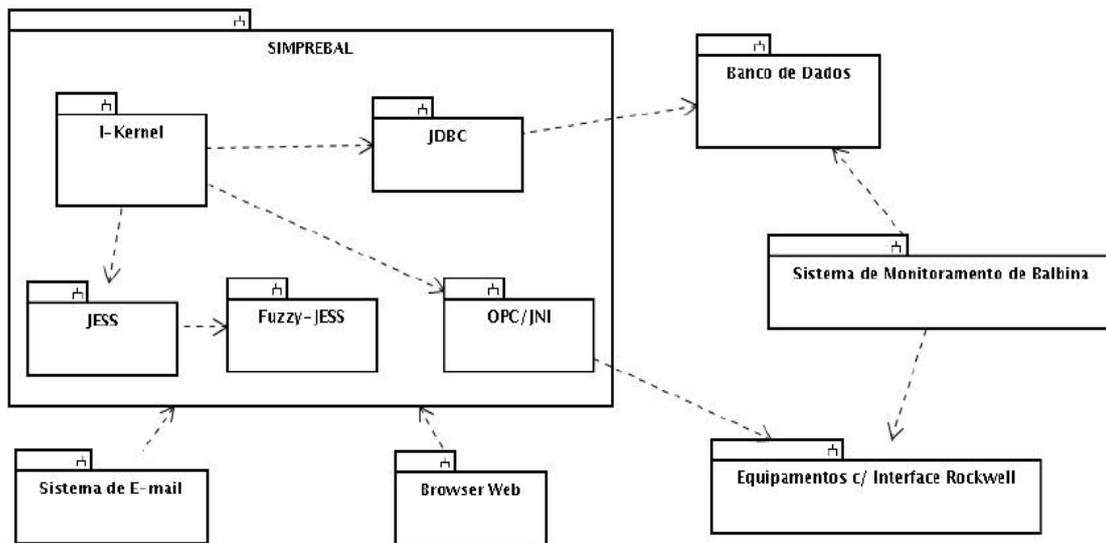


Figura 6 – Visão Geral do Projeto SIMPREBAL, demonstrando o I-Kernel e sua interação com outros módulos.

3. **Monitoração de Condição:** Esta camada determina a condição do sistema atual, subsistema, ou indicadores de condição de componente baseando-se em algoritmos, sistemas inteligentes e na saída dos módulos de sensores e processamento de sinal. É possível fazer o uso de histórico de condição local e fornecer parâmetros para o modelo. Duas dimensões devem ser consideradas: primeira, o conversor *FieldBus* e o sistema *Assetview* da Smar fornecem análises relativa à condição da instrumentação *FieldBus*; segunda dimensão, o sistema SIMPREBAL fornece a condição do sistema monitorado. No caso de estudo:

Se  $138GMM1A > 80^{\circ}\text{C}$ , então A temperatura do óleo estará alta.

Se  $138GMM1TA > 85^{\circ}\text{C}$ , então A temperatura do óleo estará muito alta.

4. **Avaliação de saúde:** Na primeira dimensão o conversor *FieldBus* e o sistema *Assetview* da Smar fornecem a avaliação da saúde da instrumentação *FieldBus*. Na segunda dimensão o sistema SIMPREBAL fornece a avaliação da saúde do sistema monitorado. A saída desta camada é um índice de saúde do equipamento monitorado
5. **Prognósticos:** Na tarefa de prognóstico, considera-se a avaliação da saúde do sistema, subsistemas, componentes, o escalonamento empregado (predição de uso) e a capacidade de raciocínio do modelo para predizer o estado de saúde do equipamento. O sistema SIMPREBAL irá utilizar abordagem baseada em Sistemas Inteligentes enfocando a utilização de Sistemas Especialistas, Lógica Fuzzy e Redes Neurais, que serão desenvolvidos usando as ferramentas Jess, FuzzyJess, MatLab e OPC/JNI.
6. **Tomada de decisão:** Integra informações necessárias para a tomada de decisão, considerando informação sobre a saúde dos equipamentos e para predizer a saúde de um sistema e/ou subsistema. O sistema SIMPREBAL irá realizar a tomada de decisão baseando-se na sua base de conhecimento gerada a partir da árvore de faltas/falhas, da

árvore de sintomas, e pelas informações de inspeções realizadas pelo sistema de Manutenção Preditiva Total (TPM).

7. **Apresentação:** Suporta a apresentação de informação para o controle das entradas dos usuários de sistemas (por exemplo, manutenção e operação). As saídas incluirão qualquer informação produzida pelas camadas mais baixas e as entradas incluirão qualquer informação requerida pelas camadas mais baixas. Fornece também a interface homem/máquina, que será desenvolvida para GUI (Interface Gráfica com o Usuário) baseada em browser (Netscape, Mozilla, IExplore, entre outros) usando html, XML, javascript e applets (Java). A forma de interação do usuário com o sistema é apresentada na figura 7.

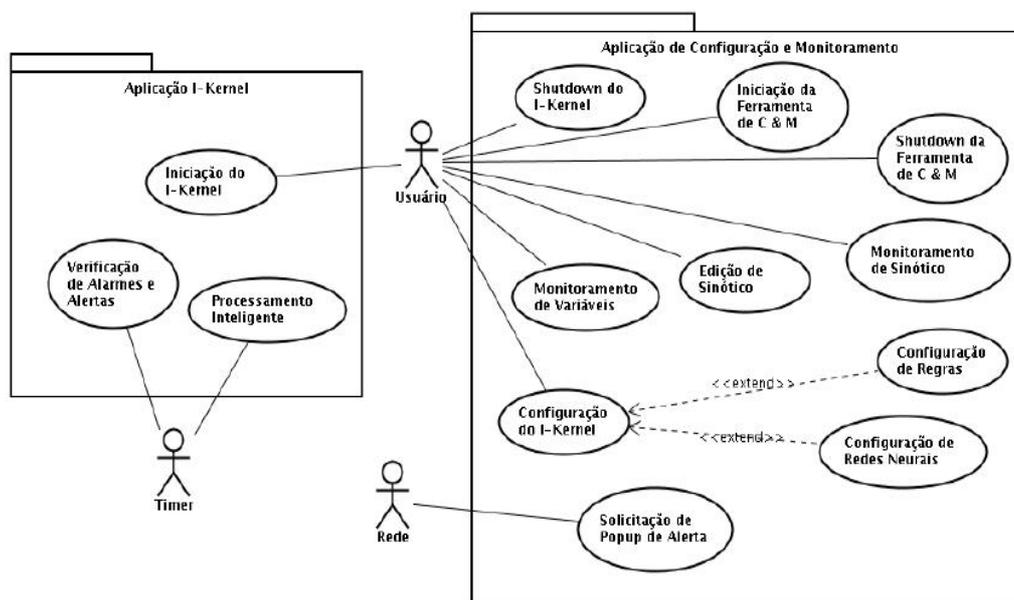


Figura 7 – Casos de Uso do Sistema.

## CONCLUSÃO

Com a proposta apresentada no presente artigo, espera-se realizar a tarefa de manutenção antes que o equipamento apresente problema. Esse processo de manutenção é conhecido como manutenção preditiva e é baseada em confiabilidade. O sistema SIMPREBAL será desenvolvido usando técnicas de Inteligência Artificial (IA), o que facilitará o processo de tomada de decisão, visto que um dos objetivos do sistema é avaliar e monitorar o equipamento para oferecer prognósticos confiáveis. Permitindo dessa maneira que o operador possa tomar decisões de manutenção com base em informações geradas pelo sistema.

A metodologia envolve conceitos de diferentes áreas do conhecimento que serão processados via técnicas de IA, como regras de produção e Lógica Fuzzy. O Sistema Inteligente SIMPREBAL auxiliará na tomada de decisão sugerindo prognósticos, para que a manutenção do equipamento possa ocorrer antes que a falha no mesmo ocorra. Isto implica em ganho de tempo e maior

confiabilidade do sistema da usina. Vale ressaltar que a metodologia aqui proposta ainda está em fase de elaboração, resultados concretos serão obtidos posteriormente.

## REFERÊNCIAS

- TANAKA, K. WANG, H.O. (2001). Fuzzy control systems design and analysis. A linear matrix inequality approach. New York: John Wiley & Sons, 305 p.
- SMAR (2001). Equipamentos de Campo série 302 Foundation. Manual de instalação, operação e manutenção. 42 p.
- JANG, J.S.R. GULLEY, N. (1999). MATLAB fuzzy logic toolbox. User's Guide. v.1. Natick: The Mathworks Inc, 235 p.
- MATLAB (2006). OPC Toolbox for use with MATLAB and Simulink. User's Guide. v.2. Natick: The Mathworks Inc, 373 p.
- JANG, J.S.R. GULLEY, N. (1999). MATLAB Neural Network toolbox. User's Guide. v.1. Natick: The Mathworks Inc, 235 p.
- SMAR (2001). Equipamentos de Campo série 302 Foundation. Manual de instalação, operação e manutenção. 42 p.
- SMAR (2005). Manual de instruções dos blocos funcionais Fieldbus Foundation. 334 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, "NBR 6023: Informação e Documentação -Referências - Elaboração", ABNT, Rio de Janeiro, 2000.
- ELETRONORTE – CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL, [on line] Disponível na internet < <http://www.eln.gov.br> >, Acesso em: 08/05/2006.
- FILHO, G. B., "Dicionário de Termos de Manutenção e Confiabilidade", 2ª edição, Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2000.
- FLEMING, P. V.; FRANÇA, S. R.R. O., "Considerações Sobre a Implementação Conjunta de TPM e MCC na Indústria de Processos", ABRAMAN – 12º Congresso Brasileiro de Manutenção: TT044, São Paulo, 1997.
- SIQUEIRA, I. P., "Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação", Qualitymark, Rio de Janeiro, 2005.
- MIL-P-24534, "Planned Maintenance System: Development of Maintenance Requirement Cards, Maintenance Index Pages, and Associated Documentation", Naval Sea Systems Command, U.S.
- MOUBRAY, J., "RCM II – Reliability Centered Maintenance", 2ª edição, New York: Industrial Press Inc, 1997.
- WYREBSKI, J., "Manutenção Produtiva Total – Um Modelo Adaptado", Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 1998.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Eletronorte, Manaus Energia e ao Eng. Antonio Araújo da Eletronorte pelas informações cedidas que foram de extrema importância para o desenvolvimento do presente trabalho.

---

Edgar Jhonny Amaya Siméon – Aluno do curso de Sistemas Mecatrônicos - UnB

---

Prof. Alberto José Álvares – ENM/UnB (Orientador)

