



**XXI SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO – I

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO DE HIDRÁULICA- GGH

**SISTEMA DE AUXÍLIO A DIAGNÓSTICO DE MÁQUINAS ROTATIVAS – UMA APLICAÇÃO A
HIDROGERADORES**

Roger R da Silva(*)
UFPA

Anderson J. C. Sena
UFPA

Jacques P. M. Sanz
Eletronorte

Roberto C. L. de Oliveira
UFPA

RESUMO

Este trabalho apresenta como proposta um sistema de auxílio a diagnóstico de hidrogeradores, baseado na utilização de lógica fuzzy, simulando o conhecimento de profissionais experientes na área. São diagnosticados os mancais, o isolamento do estator e o anel coletor. O processamento do diagnóstico é realizado com o uso das variáveis disponíveis pelos sistemas da empresa e das regras previamente estabelecidas, identificando as possibilidades de cada defeito ocorrer. Dessa forma, o sistema auxilia profissionais na identificação de possíveis defeitos em hidrogeradores. Além disso, há um módulo de simulação, de mesma base de conhecimento, que permite sua utilização como ferramenta de estudo.

PALAVRAS-CHAVE

Hidrogerador, Diagnóstico, Sistemas Fuzzy

1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente, há muitos investimentos em pesquisas sobre alternativas energéticas que tenham menor impacto socioambiental. Contudo, as usinas hidroelétricas ainda continuam como principal fonte de energia em alguns países, como o Brasil, e este panorama não deve ter uma mudança a curto e médio prazo.

Os hidrogeradores, ver Figura 1, portanto, são máquinas importantes, não sendo recomendável apresentar paradas não programadas.

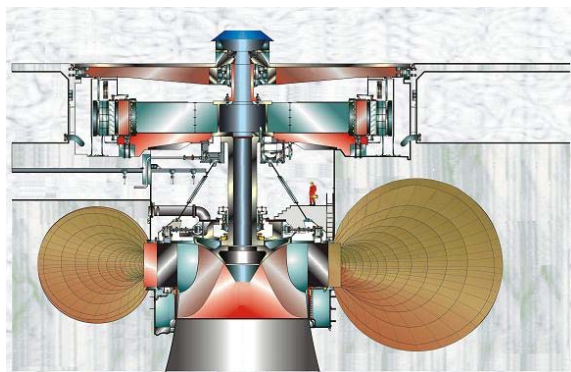


FIGURA 1 – Estrutura de um hidrogerador

Interrupções de fornecimento de energia elétrica causada por falhas em hidrogeradores afetam não somente aos consumidores domésticos, mas principalmente aos setores industriais, de serviços e de desenvolvimento

(*) Rua Augusto Correa, nº01 – Lab. de Engenharia Elétrica, Anexo Sala 2 – CEP 66.075-110 Belém, PA, – Brasil
Tel: (+55 91) 3201-7680 – Fax: (+55 91) 3201-7680 – Email: rogerdasilva@gmail.com

tecnológico, que podem vir a ter prejuízos consideráveis por necessitarem de um fornecimento contínuo de energia, o que aumenta a importância da manutenção preditiva. Portanto, a eficiência da manutenção preditiva se torna mais necessária.

O sistema de auxílio ao diagnóstico atua em conjunto com os sistemas de monitoração, de forma a complementar os mesmos no sentido de aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos conciliado com a redução dos custos de manutenção. Além de agilizar o processo de diagnóstico de defeitos.

Muitas pesquisas são realizadas para determinar diagnósticos de hidrogeradores, observando diversos sintomas que a máquina pode apresentar. Essas pesquisas são baseadas principalmente em três dos elementos que mais causam problemas nos hidrogeradores, mancais e isolamento do estator e anel coletor [1]. E para a utilização de diagnóstico desses componentes é necessário uma ferramenta de inteligência artificial. Emmendoerfer *et al* [2] desenvolveram um sistema para auxílio a manutenção desenvolvido com a lógica *fuzzy* e usavam como principais grandezas a temperatura e oscilação do mancais. Yang & Shen [3] também desenvolveram um sistema com o uso de lógica *fuzzy*, mas os sinais de entrada considerados no sistema era somente a vibração. Rodriguez e Arkkio [1] utilizaram a lógica *fuzzy* tendo objeto de pesquisa apenas o enrolamento do estator.

O sistema desenvolvido consiste em um software composto por módulos de auxílio ao diagnóstico de defeitos em hidrogeradores. Os módulos foram desenvolvidos utilizando algoritmos baseados em lógica *fuzzy* e a base de conhecimento formada pelo corpo técnico da empresa, com a finalidade de diagnosticar defeitos relacionados à perda da capacidade de isolamento do estator, desgaste dos mancais e risco de queima do anel coletor.

2.0 - MANUTENÇÃO PREDITIVA

Diferente das outras manutenções, a preditiva destaca-se por medir frequentemente as grandezas físicas, consideradas representativas do comportamento operacional do equipamento [4].

A adoção da manutenção preditiva proporciona detalhamento de itens específicos, como o controle e manutenção da qualidade do produto final que é gerado naquele equipamento ou instalação. Também possibilita uma maior confiabilidade do sistema elétrico, aumento da vida útil do equipamento e melhoria da segurança do processo, da instalação, dos equipamentos e das pessoas. Assim, como benefícios, têm-se: redução de custos da manutenção, diminuição do número de falhas nas máquinas e no tempo de parada do equipamento para reparo, redução das peças em estoques e aumento da produção [4, 5].

Um programa de manutenção preditiva pode minimizar o número de quebras de todos os equipamentos e assegurar que o equipamento reparado esteja em condições mecânicas aceitáveis. Junto com um sistema de diagnóstico, ele pode identificar problemas da máquina antes que se tornem sérios já que a maioria dos problemas mecânicos podem ser minimizados se forem detectados e reparados com antecedência. Portanto, quando um problema é detectado a tempo, normalmente maiores problemas podem ser evitados [6].

Um sistema de auxílio ao diagnóstico desempenha um papel importante no contexto da redução de custo e da agilidade no diagnóstico de defeitos, pois com o uso desta ferramenta pode-se evitar o deslocamento de especialistas até o local onde está instalado o equipamento. Além disso, é possível reduzir o tempo na detecção dos possíveis defeitos apresentados pelo equipamento em circunstâncias de comportamento anômalo das plantas monitoradas. Dessa forma, a vida útil do equipamento é estendida, os gastos com manutenção são reduzidos, e se obtém uma utilização mais eficiente da mão-de-obra especializada.

3.0 - SISTEMA FUZZY

Os sistemas *fuzzy* foram criados por Lotfi A. Zadeh nos anos 60 [7], fundamentando-se basicamente na representação e manipulação de informações incertas e imprecisas, tão comuns no cotidiano humano. Expressões tais como “quase”, “muito” e “pouco” representam esta imprecisão, que usualmente não pode ser tratada pelos sistemas da lógica clássica. Permitindo, por exemplo, que o sistema responda às evidências numa escala gradativa, com valores entre 0 e 100% (incerteza), e também estipulam regras ou padrões para tratar uma evidência não informada, ou seja, quando a resposta é “não sei” (indeterminação) [8, 9].

A combinação entre sistema especialista e lógica *fuzzy* permite que a regra, seja representada numa forma textual de fácil compreensão, como: “Se <Variável A> E <Variável B> ENTÃO <Variável de Saída A>”.

Neste artigo, o sistema de auxílio ao diagnóstico, utiliza algoritmos baseados em lógica *fuzzy* que aproveitam a experiência dos especialistas, transformando o conhecimento deles em forma de regras aplicadas ao diagnóstico, com o objetivo de se reproduzir a forma de pensar e de tomar decisões do ser humano.

Os sistemas *fuzzy* conseguem suportar os modos de raciocínio que são aproximados. Podendo ser traduzidas para expressões verbais, imprecisas, qualitativas e inerentes da comunicação humana. Introduzindo variáveis linguísticas que representam um conjunto de idéias, julgamentos intuitivos e a interpretação de cada ser humano sobre as palavras. Exemplos podem ser vistos, como: baixa, média, alta, etc, ver Figura 2 [10].

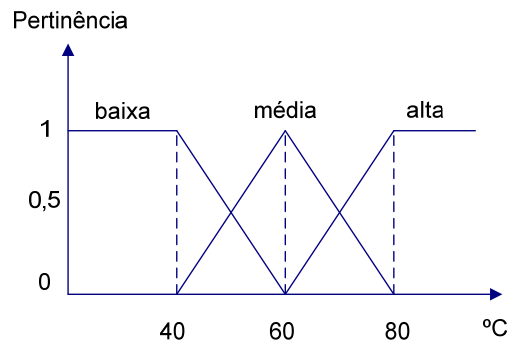


FIGURA 2 – Conjuntos *fuzzy*, variáveis linguísticas e funções de pertinências

Todas as informações não-*fuzzy*, ou determinísticas (temperatura, vibração, etc.), são traduzidas para a linguagem de conjuntos *fuzzy* no módulo denominado fuzzificador.

Neste trabalho foram utilizadas como variáveis linguísticas de entrada as grandezas monitoradas, a saber: temperaturas do metal e do óleo dos mancais de guia do gerador, de escora e de guia da turbina; oscilações radiais nos mancais de guia do gerador e da turbina; valores máximos da temperatura do enrolamento, da temperatura do ar e da temperatura do núcleo, taxa de crescimento de descargas parciais e temperatura do anel coletor a corrente referenciada. Sendo que cada uma dessas grandezas gera conjuntos com funções de pertinência trapezoidais e triangulares que são baseadas no formato apresentado na Figura 2, as funções são denominadas de *Normal*, *Alarme1* e *Alarme2*.

A máquina de inferência combina, através de preceitos lógicos, as informações advindas da base de regras e do fuzzificador, de modo a fornecer uma decisão. A máquina de inferência utilizada foi a de Mamdani.

Como esta decisão é de caráter *fuzzy*, geralmente é necessário efetuar uma interpretação de modo a traduzi-la para um valor determinístico. Este procedimento é efetuado pelo defuzzificador. Neste sistema é utilizado o método de defuzzificação *Centro de Área*.

Como variáveis linguísticas de saída, foram utilizados os defeitos mais freqüentes relacionados aos mancais, são eles: perigo de roçamento, excentricidade dos mancais de guia do gerador e de guia da turbina, defeitos nos sistemas de resfriamento de óleo nos mancais de guia do gerador, de escora e de guia da turbina. E do mesmo modo, os defeitos mais freqüentes relacionados ao isolamento do estator, como: nível de descarga parcial elevada, sobre-aquecimento do enrolamento estatórico e sobre-aquecimento localizado. Para o anel coletor é verificado o risco de queima do anel coletor.

Cada defeito possui funções de pertinência *Baixo*, *Médio* e *Alto*, todos no formato triangular.

4.0 - SISTEMA DE AUXÍLIO A DIAGNÓSTICO

O sistema de auxílio a diagnóstico em hidrogeradores foi desenvolvido com o intuito de servir primeiramente como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão da equipe responsável pela manutenção desses equipamentos. Além disso, pode ser utilizada como uma ferramenta de treinamento para iniciantes e também servir para testes de validação de regras, pois possibilita que o usuário entre com variáveis em simulações (a partir de dados fictícios das variáveis monitoradas).

O sistema de diagnóstico é composto por dois módulos, o de diagnóstico com dados reais e um módulo de simulação. O módulo de diagnóstico se comunica com os sistemas que fazem o monitoramento, sendo que o acesso aos dados dos sistemas é feito através de banco de dados SQL Server. Ao ter acesso ao sistema, o usuário pode escolher um determinado registro. Após a escolha o sistema retorna com o diagnóstico referente a um determinado momento em que houve a aquisição das informações. O módulo de simulação é semelhante ao do diagnóstico possuindo assim as mesmas variáveis de entrada, saída e regras. A diferença está na entrada de dados, no módulo de simulação os dados não são provenientes do banco de dados, mas são inseridos manualmente pelos usuários. Este sistema foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação gráfica LABVIEW da National Instruments [11, 12, 13].

4.1 Diagnóstico de Defeitos em Hidrogeradores

O sistema exibe as variáveis de entrada e as variáveis de saída, ver Figura 3. As variáveis de entrada resultam das medições armazenadas em banco de dados pelos sistemas de monitoração on-line utilizados pela empresa. E as variáveis de saída correspondem aos defeitos que podem ser diagnosticados para o hidrogerador.

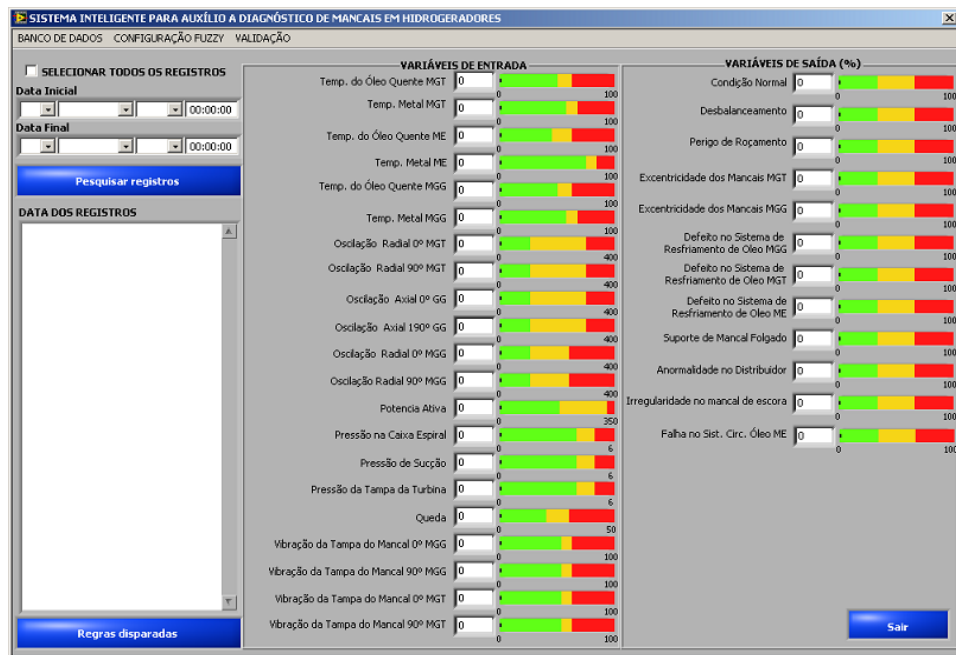


FIGURA 3 – Sistema de diagnóstico

Por meio da conexão com os bancos de dados feita ao iniciar o sistema, as datas de gravação das variáveis são disponibilizadas na tela. Ao escolher uma data, as variáveis são atualizadas na tela e as regras ativadas pelas variáveis são exibidas junto com a possibilidade do defeito, disponibilizando, dessa forma, o diagnóstico baseado no conhecimento armazenado.

Além do auxílio ao diagnóstico, o usuário também pode visualizar quão próximo o valor de cada variável está dos limites pré-estabelecidos, através das cores utilizadas nos indicadores: verde, amarelo e vermelho. É considerado estado normal o valor que estiver na região verde; estado de alarme o valor que estiver na região amarela e estado crítico o valor que estiver na região vermelha.

4.2 Módulo de Simulação

O módulo de simulação, ver Figura 4, permite ao usuário fazer a validação das regras inseridas no sistema através da simulação dos valores das variáveis de entrada. Esses valores são inseridos manualmente pelo usuário, que tem a liberdade de escolher qualquer faixa de valores que o mesmo considerar válido.

ENTRADAS		SAÍDAS	
x1-TempOleoQuenteMGT	61	X0-CondicaoNormal	9,68
x2-TempOleoMetalMGT	67	X1-Desbalanceamento	0,00
x3-TempOleoQuenteME	40	X2-perigoRocamento	0,00
x4-TempOleoMetalME	68	X3-ExcentricidadeMGT	0,00
x5-TempOleoQuenteMGG	46	X4-ExcentricidadeMGG	0,00
x6-TempOleoMetalMGG	56	X5-defeitoResfMGG	0,00
x7-OscRadialMGT-0	81	X6-defeitoResfMGT	90,00
x8-OscRadialMGT-90	0,00	X7-defeitoResfME	0,00
x9-OscAxialGG-0	0,00	X8-SuporteMancalFolgado	0,00
x10-OscAxialGG-180	0,00	X9-AnormalidadeDistribuidor	0,00

REGRAS DISPARADAS

SE x3-TempOleoQuenteME=Normal E x4-TempOleoMetalME=Normal ENTÃO X2-perigoRocamento=Baixo
 SE x7-OscRadialMGT-0=Normal E x8-OscRadialMGT-90=Normal ENTÃO X3-ExcentricidadeMGT=Baixo
 SE x11-OscRadialMGG-0=Normal E x12-OscRadialMGG-90=Normal ENTÃO X4-ExcentricidadeMGG=Baixo
 SE x1-TempOleoQuenteMGT=Alarme1 E x2-TempOleoMetalMGT=Alarme1 E x7-OscRadialMGT-0=Normal E x8-OscRadialMGT-90=Normal ENTÃO X5-defeitoResfMGG=Baixo
 SE x1-TempOleoQuenteMGT=Alarme2 E x2-TempOleoMetalMGT=Alarme2 E x7-OscRadialMGT-0=Normal E x8-OscRadialMGT-90=Normal ENTÃO X6-defeitoResfMGT=Baixo
 SE x5-TempOleoQuenteMGG=Normal ENTÃO X5-defeitoResfMGG=Baixo
 SE x6-TempOleoMetalMGG=Normal ENTÃO X5-defeitoResfMGG=Baixo
 SE x2-TempOleoQuenteME=Normal E x4-TempOleoMetalME=Normal ENTÃO X7-defeitoResfME=Baixo

FIGURA 4 – Interface de simulação

A interface de simulação possibilita que o usuário insira os valores das variáveis de entrada e também escolha os métodos de defuzzificação, de inferência e de implicação a serem utilizados para o diagnóstico. Após serem

escolhidos estes parâmetros, o usuário entra com o comando para testar os valores inseridos e na mesma interface são exibidas as regras que foram disparadas para o diagnóstico efetuado.

Este módulo é de grande utilidade tanto na fase de validação inicial das regras que acabaram de ser elaboradas pelos especialistas quanto na fase de refinamento dessas mesmas regras, o que permite eliminar inconsistências nas regras de auxílio ao diagnóstico de defeitos e, dessa forma, obter resultados bem mais confiáveis.

4.3 Configuração do Sistema

Uma característica de grande importância apresentada por este sistema de auxílio ao diagnóstico é a sua flexibilidade para alterar os parâmetros do sistema sem que seja necessária qualquer alteração no código fonte do software. Isto é possível através da interface de configuração do sistema *fuzzy*. Nela o usuário pode fazer a inclusão, exclusão e alteração das variáveis de entrada e de saída, dos conjuntos *fuzzy* e das regras de diagnóstico.

Na configuração dos conjuntos *fuzzy*, conforme apresentado na Figura 5, seleciona-se as variáveis, isto é feito para as de entrada e de saída, e para cada uma é definido o tipo, o nome e a faixa de valores do conjunto *fuzzy*.

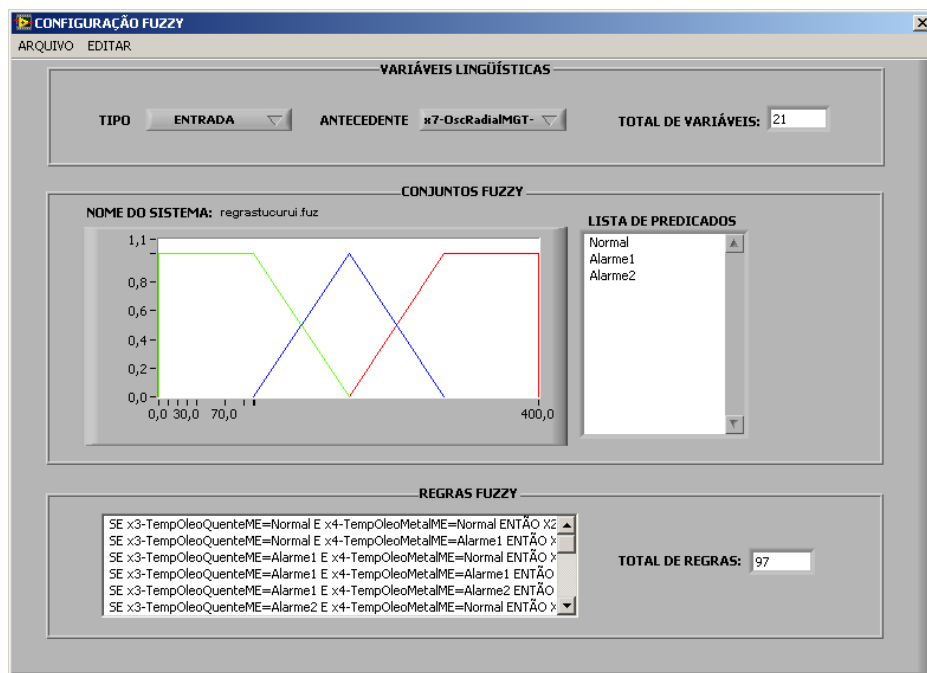


FIGURA 5 – Interface de configuração

Para a etapa de configuração das regras devem ser inseridas tanto as variáveis de entrada e saída, quanto os conjuntos *fuzzy* já definidos nas etapas anteriores. Nesta interface ainda são utilizados para composição das regras os conectores “E” e “ENTÃO”.

Desta forma, foram criadas pelos especialistas várias regras que formam a base de conhecimento do sistema e que refletem a experiência dos profissionais na área. As principais regras utilizadas que caracterizam os defeitos nos mancais estão descritas a seguir:

- SE TempOleoQuenteME=Alarme2 E TempOleoMetalME= Alarme2 ENTÃO PerigoRocamento=Alto.
 - SE OscRadialMGT-0= Alarme2 ENTÃO ExcentricidadeMGT=Alto.
 - SE OscRadialMGG-0= Alarme2 ENTÃO ExcentricidadeMGG=Alto.
 - SE OscRadialMGG-90= Alarme2 ENTÃO ExcentricidadeMGG=Alto.
 - SE TempOleoMGT=Alarme2 E TempMetalMGT=Alarme2 E OscRadialMGT-0=Normal E OscRadialMGT-90=Normal ENTÃO DefeitoResfMGT=Alto.
 - SE TempOleoMGG=Alarme2 E TempMetalMGG=Alarme2 E OscRadialMGG-0=Normal E OscRadialMGG-90=Normal ENTÃO DefeitoResfMGG=Alto.
 - SE TempOleoME=Alarme2 E TempMetalME=Normal ENTÃO DefeitoResfME=Alto.
- A seguir, as principais regras para diagnosticar defeitos no isolamento do estator:
- SE MaxTempEnrolam=Alarme2 E MaxTempAr=Normal E MaxTempNucleo=Alarme2 ENTÃO SobreAquecLocalizado=Alto.
 - SE MaxTempEnrolam=Alarme2 E TxDescargaParciais=Alarme2 ENTÃO NivelDPElevada=Alto.
 - SE MaxTempEnrolam=Alarme2 E MaxTempAr=Alarme2 E MaxTempNucleo=Alarme2 ENTÃO SobreAquecEnrolamEstatorico=Alto.

- SE MaxTempEnrolam=Normal/ ENTÃO CondicaoNormal=Alto.
- Em seguida, as regras para diagnosticar defeitos no anel coletor:
- SE TempAnelCorrenteRef= Normal/ ENTÃO RiscoQueimaAnelColetor = Baixo
 - SE TempAnelCorrenteRef = Alarme1/ ENTÃO RiscoQueimaAnelColetor = Médio
 - SE TempAnelCorrenteRef = Alarme2/ ENTÃO RiscoQueimaAnelColetor = Alto

Todas essas informações, ou seja, as regras de diagnóstico utilizadas pelo sistema são armazenadas em arquivo texto, não ocupando muito espaço em disco, além de apresentar acesso rápido aos dados quando se faz edição dos dados de configuração. Diferentemente das medições feitas pelos sistemas de monitoração que são armazenadas em banco de dados SQL Server.

É importante ressaltar que o acesso à configuração do sistema *fuzzy* é restrito, ou seja, é feito por usuários que possuem permissão de acesso para isso, o que aumenta ainda mais a integridade dos dados visto que há um risco reduzido de que qualquer usuário venha a fazer alterações indevidas na configuração do sistema.

5.0 - RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados decorrentes da aplicação deste sistema de diagnóstico em hidrogeradores com base no conhecimento obtido de especialistas.

Nos resultados discutidos foram utilizados dados criados através de um banco fictício. Este banco foi criado pelo fato de não terem sido encontrados, nos bancos de dados disponíveis na empresa, registros com dados reais que pudessem gerar um diagnóstico de defeito. Além disso, registros com dados reais de eventos podem levar certo tempo para ocorrer. Por esse motivo, foi criado esse banco com dados que simulam os eventos para que as regras de diagnóstico utilizadas pelo sistema fossem validadas.

O sistema diagnostica o mancal quanto aos defeitos de perigo de roçamento, excentricidade dos mancais e defeito no sistema de resfriamento. O diagnóstico do isolamento do estator é feito pelo sistema quanto aos defeitos de nível de descarga parcial elevada, sobre-aquecimento do enrolamento estatórico e sobre-aquecimento localizado. Quanto ao anel coletor, o diagnóstico realizado é sobre o risco de queima do anel coletor.

Com base nas regras fornecidas por especialistas e com possíveis valores onde os referidos defeitos podem acontecer, adicionou-se ao banco de dados registros com defeitos de excentricidade dos mancais na guia da turbina e registros com defeitos de sobre-aquecimento do enrolamento estatórico. Enquanto a regra sobre o defeito de excentricidade é baseada nos valores de oscilação radial do mancal da turbina, a regra sobre o defeito de sobre-aquecimento do enrolamento estatórico é baseada nos valores máximos da temperatura do enrolamento, da temperatura do ar e da temperatura do núcleo.

A interface do sistema, ver Figura 6, apresenta os valores de entrada provenientes do banco de dados e as variáveis de saída com os valores calculados. No item excentricidade do mancal MGT (mancal guia da turbina) tem como resultado o valor de 48,99, e observando o display nota-se que o valor se encontra na região amarela, alerta, indicando que o equipamento não se encontra mais em perfeito estado de funcionamento. Nessa situação, o hidrogerador apresenta um princípio de defeito que tende a se agravar se nenhuma intervenção for feita no equipamento.



FIGURA 6 – Tendência de defeito de excentricidade na turbina

Na Figura 7, o valor da excentricidade do mancal MGT é de 90,57, no display encontra-se na região vermelha, indicando que o equipamento já se encontra com o defeito. Nessa situação se o hidrogerador continuar em operação pode ocorrer uma falha no mesmo.

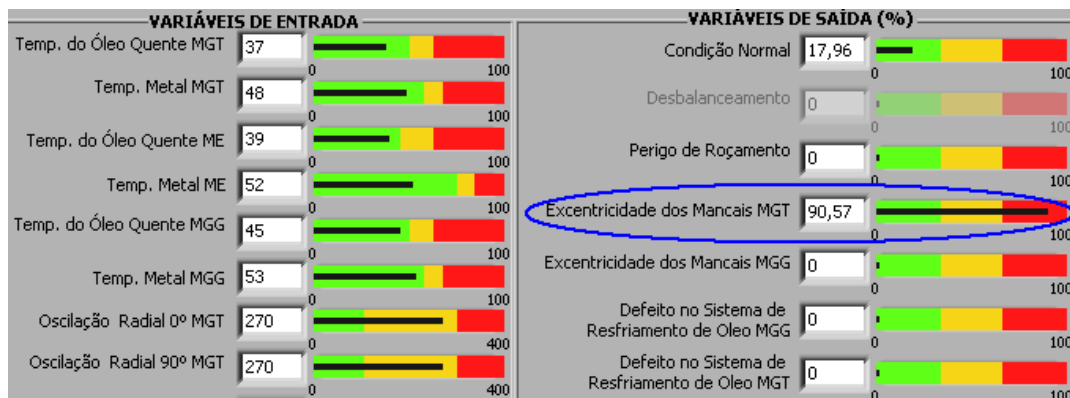


FIGURA 7 – Defeito de excentricidade na turbina encontrado

Na Figura 8, o item sobre-aquecimento do enrolamento estático tem como resultado o valor de 50,00, e observando o display nota-se que o valor se encontra na região amarela, ou seja, alerta, indicando tendência de defeito de sobre-aquecimento do enrolamento estático.



FIGURA 8 – Tendência de defeito de sobre-aquecimento do enrolamento estático

Na Figura 9, o valor do sobre-aquecimento do enrolamento estático é de 73,02, no display encontra-se na região vermelha, indicando que o equipamento já se encontra com o defeito.

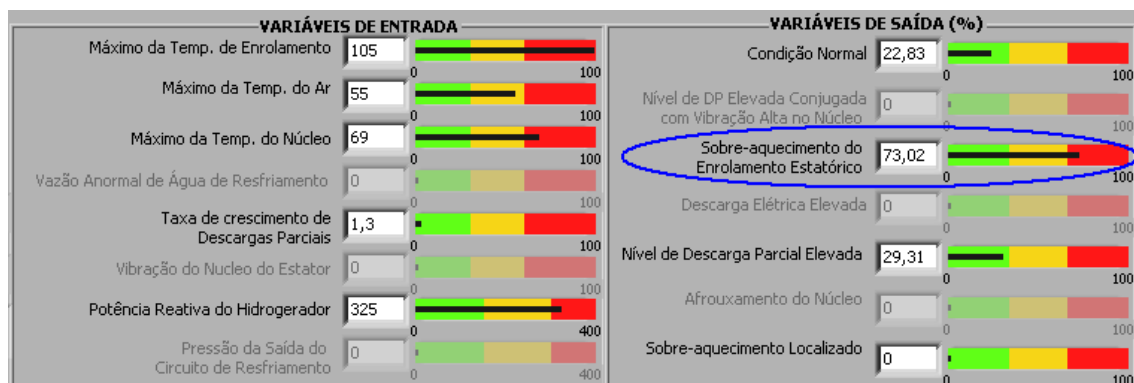


FIGURA 9 – Defeito de sobre-aquecimento do enrolamento estático encontrado

6.0 - CONCLUSÃO

Devido às constantes variações de carga de um sistema de potência e ao aumento da demanda de energia elétrica, vem sendo necessário modernizar os procedimentos de manutenção preditiva, especialmente em mancais, onde o monitoramento da unidade determina a condição operativa do equipamento.

A máquina em funcionamento emite numerosos sinais que indicam a sua condição operativa, onde o problema consiste em, a partir destes sinais, estabelecer um diagnóstico correto e confiável. Sinais como os de vibração são formados por diversos componentes, com frequência e amplitudes variadas. A determinação da origem destas possibilita a elaboração de um diagnóstico adequado, contribuindo para a implantação de um programa satisfatório de manutenção.

O sistema de diagnóstico consiste em um software especialista baseado em lógica *fuzzy* que utiliza uma base de conhecimento, formada pela experiência dos especialistas no equipamento. A utilização do sistema contribui para o

aumento da confiabilidade e segurança da hidrogeração, o que justifica plenamente sua implementação, com as seguintes vantagens:

- Monitoração contínua do equipamento, fornecendo informações ao pessoal de operação e manutenção.
- Programação antecipada de paradas programadas do equipamento, evitando multas em função de indisponibilidades desnecessárias.
- Melhoria na programação das tarefas do pessoal de manutenção.
- Auxiliar à manutenção preditiva, filtrando as informações redundantes e auxiliando no diagnóstico de defeito.
- Redução nos custos de viagens para coleta de sinais, eliminando o tempo gasto em deslocamento de especialistas.
- Diagnosticar a grande maioria dos defeitos, deixando os especialistas com mais tempo para a análise dos casos mais complexos ou que não se enquadrem nos padrões conhecidos.
- Viabilizar as tomadas de decisões dos operadores, possibilitando o acompanhamento "on-line" das evoluções dos sinais fornecidos pelo sistema de diagnósticos, auxiliando na manutenção autônoma e possibilitando a convocação da equipe de manutenção em tempo hábil para solucionar eventuais problemas que estejam evoluindo muito rapidamente.

Por fim, esse sistema além de prestar auxílio ao diagnóstico de defeitos em hidrogeradores, ajuda no treinamento e no melhor conhecimento do comportamento operacional da máquina, podendo assim diminuir a curva de aprendizado destes usuários, ou podendo servir como constatação de um conhecimento novo. Além do mais, esse sistema pode ajudar no processo da empresa no caso de intervir na produção, possibilitando planejamento, e fornecendo visualização explicativa dos dados de funcionamento do equipamento ou parte dele, para análise de risco de uma eventual intervenção.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) P.V. Rodriguez and A. Arkio, "Detection of stator winding fault in induction motor using fuzzy logic", In: *Applied Soft Computing*, 8, 2008, pp - 1112–1120, 2008.
- (2) G. Emmendoerfer, B.W.D. Horbatiuk, A.C. De Paula, and W.E Dos Santos, "Sistema Auxiliar de monitoramento para detecção de anormalidades em hidrogeradores através de sistemas fuzzy", In: *Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Elétricas*, IV, Abril, 2008.
- (3) M. Yang and Q. Shen, "Fuzzy diagnosis os turbomachines. In: *International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems*", 12, 2008. IOS Press. pp- 137-146, 2008.
- (4) Ripper, *Monitoração e Diagnóstico de Máquinas*, Apostila do Curso "Técnicas Modernas de Manutenção", COPPETEC, UFRJ, 2001.
- (5) F.R. Martins, H.R.T. De Azevedo, and S.P.S. Souza, "Gestão de conhecimento aplicada à manutenção preditiva de equipamentos", *SNPTEE - Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica*, Curitiba, Paraná, 2005.
- (6) M. Zindeluk, *Análise de Vibração*, Apostila do Curso "Técnicas Modernas de Manutenção", COPPETEC, UFRJ, 2001.
- (7) L.A. Zadeh, *Fuzzy Sets*, Inform. Control, 8, MIT Press. Cambridge, 1965.
- (8) L.X. Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice Hall International, 1997.
- (9) C.C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part I", *IEEE transactions on systems man and cybernetics*, Vol. 20, NO 2, março de 1990.
- (10) *Fuzzy Logic Toolbox User's Guide*, The Math Works, Inc. , 1998
- (11) R. Jamal and H. Pichlik, *LabVIEW -applications and solutions*, National Instruments. Estados Unidos.
- (12) National Instruments Reference Manual, *G programming reference manual*, Estados Unidos.
- (13) National Instruments Addendum, *LabVIEW Version 7.1 Addendum*, Estados Unidos.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Roger Ribeiro da Silva nasceu em Belém-PA, Brasil, em 24 de Fevereiro de 1978. Graduado em Eng. Elétrica na UFPA-2000 e Mestrado na UFPA-2004. Atualmente faz Doutorado na UFPA e é Professor do Instituto de Estudos Superiores da Amazônia (IESAM) e da Universidade da Amazônia. Sua área de atuação é em Monitoração de Equipamentos, Automação Industrial, Inteligência Artificial e Instrumentação Virtual. Possui vários trabalhos desenvolvidos no setor elétrico com a distribuidora de energia elétrica do Pará, REDE-CELPA, e com a geradora e transmissora de energia elétrica da Amazônia, ELETRONORTE. Possui 7 trabalhos publicados em anais de eventos, bem como softwares desenvolvidos e participações em conferências.



Anderson José Costa Sena nasceu em Belém-PA, Brasil, em 19 de Março, 1977. Ele se graduou em Eng. Elétrica na UFPA-2000, fez o Mestrado na UFPA-2008 e atualmente faz o Doutorado na UFPA. Atualmente é Professor do Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – IESAM, onde ministra as disciplinas Eletrônica, Controle Digital de Processos e Introdução ao Controle e Automação Industrial. Possui 9 trabalhos publicados em anais de eventos, bem como capítulos de livros, softwares desenvolvidos e participações em conferências. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais, atuando principalmente nos seguintes temas: Monitoração de Equipamentos, Automação Industrial, Inteligência Artificial e Instrumentação Virtual.



Jacques P. M. Sanz nasceu em Herimoncourt, França, em 1947. Formado em engenharia elétrica pela École Nationale Supérieure d'Électronique, d'Électrotechnique, d'Informatique et d'Hydraulique de Toulouse, França, em 1972. Pós graduação em Gestão Empresarial pela FGV em 2000. Atualmente é engenheiro senior na Eletronorte/Eletronorte. Sua área de interesse é monitoramento e manutenção em usinas elétricas.



Roberto Célio Limão de Oliveira nasceu em Belém-PA, Brasil, em 03 de Julho de 1965. Graduado em Eng. Elétrica na UFPA-1987, fez Mestrado no ITA-1991 e Doutorado na UFSC-1999. Atualmente é Professor Associado da Faculdade de Engenharia da Computação da UFPA. Sua área de atuação é em Sistemas de Controle, Processos Industriais e Inteligência Computacional. Possui vários trabalhos desenvolvidos para a indústria eletro-intensiva de alumínio, na empresa Alumínio Brasileiro S.A (ALBRAS). No setor elétrico tem desenvolvido vários projetos de pesquisa com a distribuidora de energia elétrica do Pará, REDE-CELPA, e com a geradora e transmissora de energia elétrica da Amazônia, ELETRONORTE. Publicou 10 artigos em periódicos, bem como capítulos de livros, e mais de 60 trabalhos em conferências.

Em 2000, publicou o livro “Redes Neurais com Aplicações em Controle e em Sistemas Especialistas”.