



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

GMI - 01
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO XII
GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS - GMI**

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE APLICADA A SISTEMAS ELÉTRICOS: UMA
PROPOSTA PARA USO DE ANÁLISE DE RISCO NO DIAGRAMA DE DECISÃO**

Jaime Eduardo Pinto Lima	José Luis Oliveira Raposo *	Niraldo Roberto Ferreira
DET NORSKE VERITAS	PETRÓLEO BRASILEIRO S/A	UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

RESUMO

Este trabalho aborda a manutenção centrada em confiabilidade (MCC) com o objetivo de oferecer uma proposição de melhoria na sua metodologia. Análise de risco é introduzida no diagrama de decisão como forma de reduzir a dependência do método, do julgamento das pessoas envolvidas quanto a questão da implicação dos modos de falha na segurança, meio ambiente e saúde ocupacional. A modificação proposta foi testada em um caso de aplicação em turbogerador previamente realizado, obtendo-se menor subjetividade e maior rigor no julgamento do impacto do efeito da falha na segurança, meio ambiente e saúde, melhor rastreabilidade e documentação das características destas falhas, redução e maior controle dos riscos existentes, e treinamento do grupo de trabalho da MCC em análise de risco.

PALAVRAS-CHAVE

Manutenção, Confiabilidade, Análise de risco, Sistemas elétricos, MCC.

1.0 - INTRODUÇÃO

Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), traduzido do termo em inglês Reliability Centered Maintenance (RCM), é um enfoque sistemático para o planejamento de manutenção, considerando aspectos de confiabilidade e com diversos benefícios apresentados na literatura decorrentes da sua aplicação em programas de manutenção. Neste trabalho apresenta-se uma aplicação da metodologia de MCC com a introdução de melhorias na sua metodologia de forma a reduzir a subjetividade no julgamento do especialista na etapa de classificação dos modos de falha no Diagrama de Decisão, criando-se mecanismos que auxiliem a definição da existência de impacto na segurança industrial ou meio ambiente. A proposta introduz uma contribuição ao método através da implementação de lista de verificação e Análise Preliminar de Riscos, estabelecendo um elo com o diagrama de decisão da metodologia. As melhorias propostas na sistemática foram aplicadas em um caso real utilizando dados de um turbo-gerador de uma unidade industrial de grande porte e os resultados serão aqui apresentados.

2.0 - MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) teve origem a partir dos anos 60 com a otimização dos procedimentos de manutenção na indústria aeronáutica e consolidou-se com um relatório escrito em 1978 por F. Stanley Nowlan e Howard Heap para o Departamento de Defesa dos Estados Unidos intitulado "Reliability-centered Maintenance".

2.1 - Conceitos gerais

*Rua Colmar Americano da Costa, 199 / apto. 802 - Bairro: Pituba - CEP 41830-600 - Salvador - BA - BRASIL
Tel.: (71) 451-3718 - Fax: (71) 604-2305 - e-mail: luis.raposo@petrobras.com.br

MCC é " um processo usado para determinar as necessidades de manutenção de qualquer ativo físico no seu contexto operacional" (4). Entre seus objetivos, estão a redução da quantidade de manutenção não planejada para casos onde isto influencia a disponibilidade e a otimização da manutenção para alcançar o nível desejado de confiabilidade do equipamento a custo mínimo, sendo uma ferramenta útil para assegurar que um sistema ou item continue a preencher as suas funções requeridas (2)-(4). São citados vários benefícios advindos da aplicação de MCC: redução das atividades de manutenção preventiva, redução dos custos dos programas de manutenção, aumento da disponibilidade dos sistemas, aumento da vida útil dos equipamentos, redução do no. de itens de sobressalentes, especialização de pessoas e motivação para trabalho em equipe (1)-(8)-(9)-(10)-(11).

A metodologia da MCC está relacionada a sete questões básicas sobre o item, equipamento ou sistema: Quais são as funções e padrões de desempenho do item no seu contexto operacional atual ? De que forma ele falha em cumprir suas funções ? O que causa cada falha operacional ? O que acontece quando ocorre cada falha ? De que forma cada falha tem importância ? O que pode ser feito para prevenir cada falha ? O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa preventiva ?

Estas questões são aplicadas em etapas: escolha e modularização do sistema, análise funcional e análise das falhas funcionais, elaboração da FMEA (Análise de modos de falha e efeitos), avaliação e seleção da estratégia de manutenção a ser adotada para cada modo de falha e a formulação do plano de manutenção.

2.2 - Estratégias de manutenção no MCC

As estratégias ou tarefas de manutenção são selecionadas através do diagrama de decisão, para cada modo de falha identificado, considerando o seu contexto operacional e as consequências da falha. Existem variações nos diagramas de decisão apresentados pelos diversos autores (3)-(4)-(9). Na Figura 1 apresenta-se um diagrama de decisão da MCC (3).

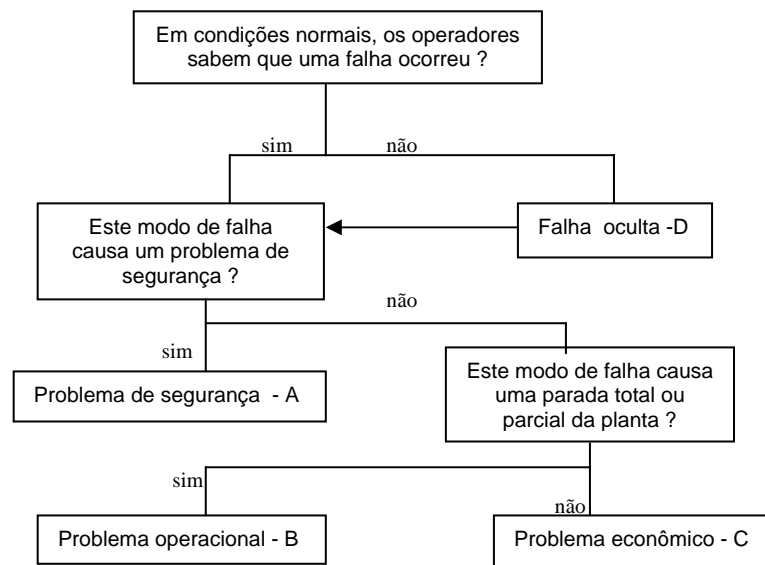


FIGURA 1 - Diagrama de decisão (Árvore lógica)

É necessário estabelecer quais ações serão tomadas a fim de eliminar ou reduzir as consequências de cada modo de falha. As estratégias ou tarefas de manutenção são divididas em: tarefas pró-ativas e ações ou tarefas default (4). As tarefas pró-ativas ou preventivas são divididas em três categorias: tarefas programadas sob condição, tarefas de restauração programada e tarefas de substituição programada. As ações ou tarefas default são aquelas que podem ser tomadas caso nenhuma tarefa pró-ativa seja considerada tecnicamente viável e que devem ser feitas para qualquer modo de falha, podendo ser divididas em três categorias: tarefas de busca de falhas, reprojeto do item ou sistema e manutenção não programada (4). Para a seleção da estratégia de manutenção a ser adotada em cada modo de falha pode-se adotar a seguinte sequência (4):

- Uma tarefa para detectar se a falha está ocorrendo ou para ocorrer é tecnicamente viável e vale a pena ser feita ?
 - Sim , então programar a tarefa sob condição (BC)
 - Não,
- Uma tarefa de restauração programada para evitar falhas é tecnicamente viável e vale a pena ser feita ?
 - Sim, então programar a tarefa de restauração (BT)
 - Não,

- Uma tarefa de descarte programado para evitar falhas é tecnicamente viável e vale a pena ser feita ?
 - Sim, então programar tarefa de descarte (BT)
 - Não,
- Uma combinação de tarefas para evitar falhas é tecnicamente viável e vale a pena ser feita ?
 - Sim, então programar as tarefas combinadas.
 - Não,
- Reprojetar o sistema. Ação compulsória tratando-se de uma falha que afeta a segurança, meio ambiente ou saúde.

3.0 - ANÁLISE DE RISCO

Perigo é uma característica física ou química inerente de um material, sistema, processo ou planta que tem o potencial de causar dano (18). O risco é função da frequência de ocorrência e a consequência de determinado perigo (6). Um estudo de análise de risco é uma tentativa organizada de identificar e analisar a significância das situações de risco associadas com o projeto ou atividade (18). São realizados para apontar deficiências e pontos fracos no projeto ou operação de uma planta, para investigar as prováveis causas de um incidente já ocorrido, como parte de um programa de gerenciamento de mudanças na planta, e para identificar equipamentos críticos sob aspecto de segurança para manutenção especial, testes, ou inspeção como parte de um programa de integridade mecânica (18). Após a identificação dos perigos, pode-se adotar medidas mitigadoras ou eliminadoras dos seus efeitos. Exemplos de medidas mitigadoras que reduzem frequência: treinamento de operadores, mudanças nas condições de trabalho, colocação de proteção nas máquinas, estratégias de manutenção (preditiva, preventiva e busca de falhas), ou reduzem a intensidade de suas consequências: implementar o uso de equipamento de proteção individual, instalar sistemas fixos de combate a incêndios, estabelecer plano de ação para acidentes e reprojetar de um equipamento. Existem diferentes técnicas de análise de risco, cada qual com objetivos, benefícios, custos e limitações próprias (6)-(13)-(18). Para os objetivos deste trabalho são utilizadas duas técnicas: lista de verificação e análise preliminar de risco. A análise preliminar de risco (APR) é uma técnica precursora e qualitativa de análise bem estruturada que fornece uma categorização dos riscos envolvidos em um processo ou atividade e estabelece critérios básicos de seleção para aquelas atividades que serão objeto de análises quantitativas mais rigorosas.

4.0 - PROPOSTA DE MELHORIA NA METODOLOGIA DO MCC

Apesar de reconhecidamente vantajosa quanto sua aplicação, têm sido identificados, pontos de melhorias na sistemática da MCC como em (1)-(8)-(9)-(10)-(11)-(12). Por exemplo, no tratamento dos riscos de segurança envolvidos em atividades de manutenção, onde existe um vazio entre a MCC e a análise de riscos, sendo o assunto tratado como uma questão "sim" ou "não" em relação ao impacto do modo de falha na segurança (9)-(11). O uso de uma técnica de análise de risco pode trazer maior consistência na metodologia da MCC no que tange ao tratamento dos riscos de segurança impostos pelo efeito de uma determinada falha. Apesar da importância atribuída para os modos de falhas que afetam a segurança e meio ambiente, fica evidente no diagrama apresentado na Figura 1 que a questão é colocada como "sim" ou "não".

Apresenta-se a seguir a proposta de uma sistemática para incorporar análise de risco no MCC, visando reduzir ou eliminar o potencial de erro na avaliação da questão de segurança e meio ambiente nas consequências do modo de falha. O objetivo da análise de risco nesta abordagem é avaliar como os modos de falha de cada componente da planilha da FMEA da MCC afetam a segurança e o meio ambiente. Para isto, no diagrama de decisão da MCC é necessário responder a seguinte pergunta para cada efeito de um determinado modo de falha: "O efeito do modo de falha tem alguma influência no Meio Ambiente, Saúde Ocupacional ou Segurança Industrial?". Para obter-se uma resposta com menor grau de subjetividade propõe-se o uso de uma lista de verificação (LV) e uma análise preliminar (APR) do risco envolvido, conforme sequência a seguir:

Passo 1: Aplicar a Lista de Verificação Preliminar (Figura 2) sobre o efeito provocado pelo modo de falha. A aplicação desta LV não será conclusiva, mas se uma das respostas dos quesitos for "SIM" significa que para o mesmo deverá ser atribuído atenção diferenciada nos próximos passos.

Passo 2 : Consultar o Guia de Avaliação de Risco, identificando no mesmo (coluna SELEÇÃO) o(s) perigo(s) envolvido(s) com o efeito do modo de falha de acordo com a resposta obtida na aplicação da LV. O Guia de Avaliação de Risco é uma planilha que contém os possíveis perigos que podem ser provocados por vinte grupos diferentes de efeitos de falha.

Passo 3 : Verificar em todos os itens e sub-itens do Guia de Avaliação de Risco se não há mais perigos envolvidos com o efeito do modo de falha em análise. Caso seja identificado mais algum perigo provocado pelo efeito do modo de falha, deve ser assinalado no Guia (coluna SELEÇÃO).

Passo 4 : Para cada perigo assinalado na coluna SELEÇÃO, aplicar um estudo de avaliação do risco envolvido conforme a metodologia a seguir:

Avaliar a severidade do efeito da falha determinando-se um índice chamado IP (Índice de Perigo). O índice IP é constituído por pelo menos duas letras e um algarismo:

- As letras, selecionadas na Tabela 1, representam somente o tipo de consequência, ou seja, o modo de falha afeta segurança, saúde ou meio ambiente, procurando apenas qualificar a consequência da falha.

- A letra, selecionada na Tabela 2, representa a extensão da consequência, ou seja, se os efeitos são internos ou externos aos limites da planta ou unidade industrial.
- O algarismo (Y), selecionado na Tabela 3, representa uma graduação da severidade da consequência, ou seja, do menos severo (1) ao mais severo (4), procurando-se quantificar a consequência da falha.

EFEITO DO MODO DE FALHA	SIM	NÃO
A falha coloca em risco algum inventário significativo ?		
A falha provoca condições físicas extremas para o processo ou pessoas ?		
A falha provoca transtornos operacionais, criando condição insegura no processo ?		
A falha pode provocar outras falhas em cascata ?		
A falha provoca danos estruturais ?		
A falha desencadeia fenômenos químicos/físicos colocando em risco a segurança, saúde das pessoas ou meio ambiente ?		
A falha provoca aceleração descontrolada de objetos ou fluídos ?		
A falha provoca desaceleração descontrolada de objetos ou fluídos ?		
A falha provoca reações químicas perigosas ?		
A falha provoca efeitos elétricos perigosos ?		
A falha provoca explosões ?		
A falha provoca fogo ou inflama materiais potencialmente perigosos ?		
A falha pode elevar o calor e a temperatura, aumentando as condições de pressão, temperatura, inflamabilidade, volatilidade ou atividade de gases ?		
A falha interfere no adequado funcionamento de equipamentos mecânicos, criando condições de risco para pessoas ou meio ambiente?		
A falha provoca sobrepressão em gás, ar, líquidos ou sistemas ?		
A falha provoca ruptura, sobrepressão ou pressão negativa em equipamentos estáticos ?		
A falha provoca vazamentos ou liberação de substâncias perigosas ?		
A falha provoca emissão de radiações ?		
A falha provoca liberação de substâncias tóxicas ?		
A falha provoca aumento excessivo de vibração ?		

FIGURA 2 - Lista de verificação preliminar

A apuração do Índice de Perigo (IP) indicará a consequência e a abrangência prevista para um determinado efeito do modo de falha em análise. Por exemplo: Se IP = AI1, o modo de falha afetará a segurança no âmbito interno à planta com consequências de baixa severidade.

TABELA 1- Designação das letras de acordo com a consequência da falha consequência letra

CONSEQUÊNCIA	LETRA
Atinge a segurança de pessoas	A
Atinge a saúde de pessoas	B
Atinge o meio ambiente	C

TABELA 2 - Designação da letra de acordo com a consequência da falha

CONSEQUÊNCIA	LETRA
Restrita aos limites da planta ou unidade industrial	I
Atinge a comunidade vizinha, consumidores ou ecossistema da região	E

TABELA 3 - Avaliação da severidade da(s) consequência(s) do modo de falha

Y	Severidade	A	B	C
0	Nenhuma	Não há impactos na segurança	Não há impactos na saúde de pessoas	Não há impactos sobre o meio ambiente
1	Baixa	Danos em equipamentos insignificantes	Pronto atendimento e primeiros socorros a pessoas	Danos insignificantes ao meio ambiente
2	Moderada	Danos leves e controláveis a equipamentos (baixo custo de reparo)	Lesões leves em funcionários, terceiros ou moradores vizinhos. Doenças ocupacionais não graves	Danos leves e controláveis ao meio ambiente
3	Crítica	Danos severos em equipamentos. Parada de unidade ou sistema	Lesões ou doenças ocupacionais severas em funcionários, terceiros ou moradores vizinhos. Probabilidade remota de poucas mortes	Danos severos ao meio ambiente. Requer comunicação ao órgão ambiental
4	Muito Crítica	Danos irreparáveis a equipamentos. Parada desordenada de unidade ou sistema	Morte, lesões ou doenças ocupacionais graves de várias pessoas na planta ou na comunidade vizinha	Danos irreparáveis ao meio ambiente

Para avaliação da frequência da falha, classifica-se o modo de falha em uma das categorias de frequência, de acordo com a Tabela 4 (6):

TABELA 4 - Avaliação da frequência da(s) consequência(s) do modo de falha

Valor	Frequência	Faixa (/ano)	Descrição
1	Extremamente remota	$f < 10^{-4}$	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil da instalação.
2	Remota	$10^{-4} < f < 10^{-3}$	Não é esperado que ocorra durante toda a vida útil
3	Improvável	$10^{-3} < f < 10^{-2}$	É pouco provável que ocorra durante toda a vida útil
4	Provável	$10^{-2} < f < 10^{-1}$	É esperado que ocorra até 1 vez durante a vida útil
5	Muito provável	$f > 10^{-1}$	É esperado que ocorra várias vezes durante a vida útil

Com os valores de IP e F conhecidos utiliza-se uma matriz de avaliação para obter uma indicação do grau de risco envolvido no efeito provocado pelo modo de falha da metodologia da MCC (6)-(18). Propõe-se a utilização da matriz de risco mostrada na 3. Observa-se que na matriz de risco, no eixo horizontal (severidade) somente o algarismo representado por Y é considerado, pois aqui não há sentido em diferenciar se o efeito do modo de falha é sobre a segurança, saúde ou o meio ambiente, mas apenas verificar a severidade do risco envolvido.

Na Tabela 5 estão resumidas os resultados que podem ser obtidos na matriz, condição e tipo de ação recomendada. Se o Grau de Risco for I, II ou III considera-se que o modo de falha analisado tem implicações no meio ambiente, saúde ou segurança e deve ser submetido aos questionamentos dasistêmica do MCC, como sugerido no diagrama de decisão. Neste caso, devem ser relacionadas estratégias ou tarefas de manutenção pró-ativas que atendam aos critérios do quadro acima ou reprojeter o sistema. No caso do grau de risco IV, devem ser incluídas as medidas de sinalização e aviso necessárias para mitigação e a manutenção corretiva é a indicada, a menos que outra estratégia ou tarefa de manutenção seja economicamente justificável. No caso do grau de risco V, a estratégia de manutenção indicada é a corretiva. Conhecidos os valores das variáveis IP, F e RISCO pode-se preencher as colunas correspondentes no Guia de Avaliação de Risco e registrar as ações recomendadas de acordo com os critérios definidos acima. Com a sistemática proposta, um modo de falha não afeta a segurança, saúde e o meio-ambiente se uma das condições abaixo for encontrada:

- Índice IP cujo algarismo Y seja menor que 1.
- Índice IP cujo algarismo Y seja maior ou igual a 1 mas o grau de risco for menor (IV) ou desprezível (V).

F r e q u ê n c i a - F	III	II	I	I	5
	IV	III	II	I	4
	V	IV	III	II	3
	V	V	IV	III	2
	V	V	V	IV	1
	1	2	3	4	
Severidade - IP(Y)					

FIGURA 3 - Matriz de risco (Frequência x Severidade)

TABELA 5 -Grau de risco da(s) consequência(s) do modo de falha

Grau	Categoria	Condição	Ações
I	CRÍTICO	Não aceitável	Verificar se existe alguma estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha ou reduzir o risco para grau III. Caso contrário, deve ser mitigado com projetos e/ou controles administrativos para um risco III ou menos dentro de um horizonte de 6 meses.
II	SÉRIO	Indesejável	Verificar se existe alguma estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha ou reduzir o risco para grau III. Caso contrário, deve ser mitigado com projetos e/ou controles administrativos para um risco III ou menos dentro de um horizonte de 12 meses.
III	MODERADO	Aceitável c/ controles	Verificar se existe alguma estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha. Caso contrário, deve ser verificado que procedimentos ou controles são possíveis no local
IV	MENOR	Aceitável c/ aviso	Sinalização e avisos são medidas necessárias. Verificar se alguma estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha é economicamente viável.
V	DESPREZÍVEL	Aceitável	Nenhuma mitigação requerida

Na Figura 4 apresenta-se o diagrama de decisão do MCC, modificado com a inclusão da Análise de Risco.

5.0 - APLICAÇÃO DA MCC NO SISTEMA ELÉTRICO INDUSTRIAL DE UMA REFINARIA DE PETRÓLEO (CASO PRÁTICO)

A Refinaria Landulpho Alves, localizada em Mataripe, é uma das unidades do parque de refino de petróleo da Petrobras, estado da Bahia, Brasil. Possui três unidades geradoras de energia elétrica em 13.8 kV e uma subestação de 69/13.8 kV (S-65) para conexão com a rede de transmissão da concessionária de energia. O TG-8301A consiste de uma turbina General Electric, modelo LM2500, que utiliza o gás natural como combustível, para acionar um gerador elétrico Brush, potência nominal de 23,75MVA, 13.800V, fornecendo energia elétrica para a refinaria através do painel PN-5101E e gases de exaustão para a caldeira recuperadora GV-8301.

Em dezembro/2001, foi formado um grupo de trabalho de engenheiros e técnicos da RLAM para elaborar um plano de manutenção para o TG-8301, segundo a metodologia da MCC. O grupo contou com uma consultoria externa para treinamento do grupo e coordenação dos trabalhos. O grupo foi formado por três engenheiros mecânicos, um engenheiro de elétrica, 01 engenheiro de instrumentação, 01 técnico de operação da área de utilidades, 01 técnico de elétrica e 01 técnico de instrumentação. Na MCC, o equipamento foi dividido em 14 módulos: Sistema de Partida, Sistema de Exaustão de Gases, Sistema de Proteção de Incêndio, Sistema de Lubrificação da Turbina, Sistema de Lubrificação do Gerador, Sistema de Proteção Mecânica, Sistema de Gás Combustível, Sistema de Controle, Sistema de Ventilação, Sistema da Turbina, Sistema do Gerador, Sistema de

Corrente Contínua, Sistema de Corrente Alternada, Sistema de Lavagem. Os componentes que tiveram algum modo de falha relacionados com segurança no MCC original foram: sistema de excitação, sistema digital de proteção, disjuntor geral 52-A15, válvulas de segurança e resistor de aterramento. Todos do sub-sistema gerador. Os sub-sistemas do gerador, de corrente contínua e de corrente alternada estão diretamente relacionados com os propósitos deste trabalho, razão pela qual estes sistemas foram escolhidos para uma análise crítica sobre os modos de falha apontados na execução da metodologia como tendo efeito sobre a segurança, saúde ocupacional e meio ambiente. A análise consistiu em submeter os modos de falha destes três sub-sistemas, apontados no relatório do grupo da MCC do TG-8301 à sistemática proposta no item 4 e verificar a classificação atribuída para os modos de falha que afetam a segurança, saúde e meio ambiente.

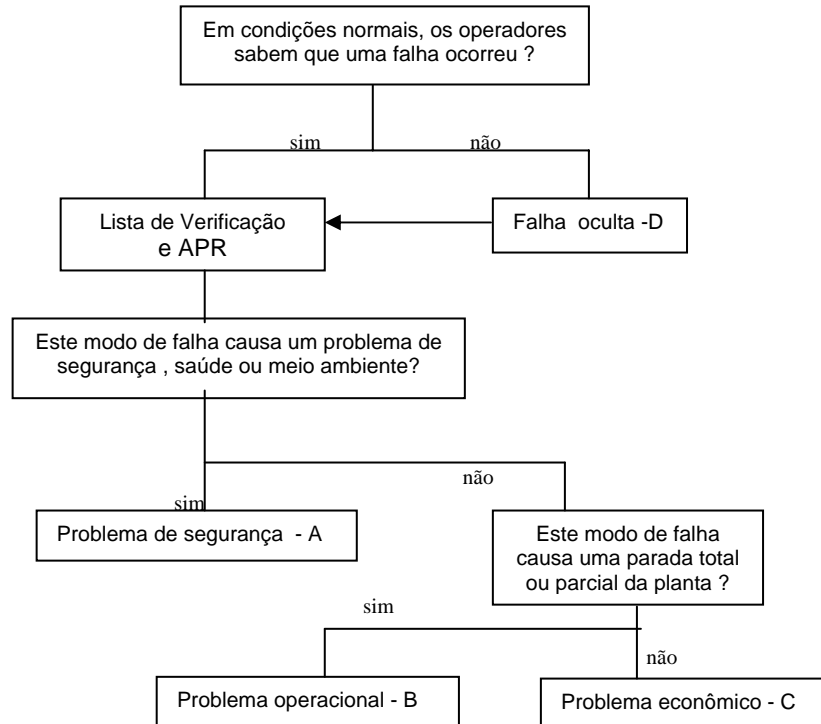


FIGURA 4 - Diagrama de decisão modificado

6.0 - CONCLUSÃO

O plano de manutenção do TG-8301 está em fase de implantação utilizando-se o sistema de gerenciamento de manutenção da planta para cadastramento das tarefas de manutenção. Com a metodologia proposta, as tarefas decorrentes dos modos de falha dos sub-sistemas Gerador, Corrente Alternada, Corrente Contínua e Resistor de aterramento foram revisadas, obtendo-se informações mais precisas sobre classificação, extensão e riscos associados às falhas que afetam a segurança, saúde e meio ambiente, permitindo um gerenciamento mais eficaz das mesmas. Falhas que inicialmente foram classificadas como operacionais ou econômicas foram submetidas a metodologia proposta e foram consideradas como falhas que afetam a segurança, saúde e meio ambiente, mostrando que a inclusão de uma etapa de análise de risco no diagrama de decisão do MCC traz benefícios, tais como: menor subjetividade e maior rigor no julgamento do impacto do efeito da falha na segurança, meio ambiente e saúde, rastreabilidade e documentação das características destas falhas, revisão da análise dos riscos envolvidos no processo, redução e maior controle dos riscos existentes, e treinamento do grupo de trabalho da MCC em análise de risco. A metodologia proposta é aplicável em outros processos ou sistemas.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) J. Endrenyi, S. Aboresheid, R. N. Allan, G. J. Anders, S. Asgarpoor, R. Billinton, N. Chowdhury, E. N. Dialynas, M. Fipper, C. Grigg, J. McCalley, S. Meliopoulos, T. C. Mielnick, P. Nitu, N. Rau, N. D. Reppen, L. Salvaderi, A. Schneider, e Ch. Singh, "The present status of maintenance strategies and the impact of maintenance on reliability". IEEE Transactions on Power Systems, Risk and Probability Applications Subcommittee, E.U.A, vol. 16, n. 4, p.638-646, nov. 2001.
- (2) J. R. B. Lafraia, Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001, pp. 235-274.

- (3) A. M. Smith, Reliability-centered maintenance. New York: McGraw-Hill, 1993, pp. 55-104.
- (4) J. Moubray, Manutenção centrada em confiabilidade. 3a. ed. aum. Lutterworth : Aladon, 2000.
- (5) A. K. Pinto e J. de A. N. Xavier, Manutenção: função estratégica. 2a. ed. rev. amp. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001, pp. 127-142.
- (6) J. C. de Araújo e Lima, L. F. S. de Oliveira e J. D. Amaral Netto, Manual de análise de risco e de confiabilidade. Rio de Janeiro: Petrobras/Reduc, [199-], pp. 1/1-2/14, 4/1-4/12.
- (7) F. P. Lees, Loss prevention in the process industries. 1st. ed. rev. atual. London, UK: Butterworth-Heinemann, 1991. v.2, pp. 175-210.
- (8) G. F. D'Addio, P. Firpo, e S. Savio, "Reliability centered maintenance: A solution to optimise mass transit system cost effectiveness". In: International Conference on Developments in Mass Transit Systems, n.543, 1998, IEE, 1998. p.211-216.
- (9) B. S. Hauge e D. C. Johnston, "Reliability centered maintenance and risk assessment". In: Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2001, IEEE. Proceedings: IEEE, 2001. p.36-40
- (10) D. C. Johnston, "Measuring RCM implementation". In: Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2002, IEEE. Proceedings: IEEE, 2002. p.511-515.
- (11) D. C. Johnston, "Plausible reasoning theory in reliability-centered maintenance analysis". In: Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2002, IEEE. Proceedings: IEEE, 2002. p.367-371.
- (12) B. S. Hauge, "Optimizing intervals for inspection and failure-finding tasks". In: Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2002, IEEE. Proceedings: IEEE, 2002. p.14-19.
- (13) D. C. Johnston, "Simulation in RCM training". In: Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2001, IEEE. Proceedings: IEEE, 2001. p.235-239.
- (14) C. H. de Melo, J. M. S. Gueiros Jr., C. do R. V. Morgado, "Avaliação de riscos para priorização do plano de segurança". In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2002, Niterói. Universidade Federal Fluminense - Centro Tecnológico - Escola de Engenharia. p.1-9.
- (15) B. S. Hauge, A. M. Stevens, R. J. Loomis Jr., A. Ghose, "Reliability centered maintenance on the space shuttle program". In: Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2000, IEEE. Proceedings: IEEE, 2000. p.311-316.
- (16) F. L. B. Diniz, Manutenção Centrada em Confiabilidade. Apostila de curso. Salvador: DNV Principia, 2001.
- (17) F. L. B. Diniz, R. Q. de Oliveira, A. G. Fraga, A. C. R. da Silva, J. L. O. Raposo, A. S. Magalhães, A. C. Pereira, F. R. Ribeiro, J. Rosa, "Aplicação de MCC no sistema de turbina a gás (TG-8301) da RLAM". Relatório. Salvador: Petrobras e DNV, 2002.
- (18) Guidelines for hazard evaluation procedures: with worked examples. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. 2nd ed. New York , 1992.
- (19) Raposo, J. L. O., Manutenção centrada em confiabilidade aplicada a sistemas elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão. 2004. Dissertação de mestrado - Engenharia elétrica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.