



**XXIII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GMI/04  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO -XII**

**GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO- GMI**

**IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE MONITORAÇÃO DE CONFIABILIDADE DE SISTEMAS  
ELETRÔNICOS DE SEGURANÇA EM USINA NUCLEAR**

**Sérgio Dias Costa  
ELETRONUCLEAR S A**

**RESUMO**

As Usinas Nucleares de Angra dos Reis têm licença de operação para 40 anos extensíveis para mais 20 anos. Para que esta extensão seja possível é necessário que se comprove a confiabilidade de seus sistemas, equipamentos e estruturas.

Para cumprir este requisito são feitos acompanhamentos de envelhecimento de componentes e a progressiva obsolescência de outros componentes.

Também foi implantado um Programa de Monitoração da Confiabilidade da Planta que se divide em três pilares:

1. Programa de Monitoração de Confiabilidade de Equipamentos e Sistemas de Segurança
2. Programa de Monitoração de Confiabilidade de Prédios e Estruturas de Segurança
3. Programa de Monitoração de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos de Segurança

Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma metodologia para garantir que esta comprovação de confiabilidade, relacionada aos sistemas eletrônicos, seja consistente e proporcione a máxima confiabilidade dos sistemas conduzindo a uma vida útil de extensão máxima e uma redução nas necessidades de trocas e modernizações.

Devemos lembrar sempre que, apesar de uma vida útil extensa, sistemas eletrônicos dependem muito de vários fatores para sua operação correta e segura. Os sistemas eletrônicos de usinas nucleares são projetados com elevado nível de exigências as quais devem ser garantidas ao longo de todo o tempo de vida das usinas. Apesar disto, sabe-se que os sistemas eletrônicos sofrem processos físico químicos de envelhecimento que podem conduzir a falhas aparentes ou ocultas.

O Programa de Monitoração de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos de Segurança visa monitorar o desempenho dos sistemas eletrônicos no decorrer da sua utilização pela usina através da execução de testes "preditivos" de forma a subsidiar a política de investimentos da empresa na troca ou modernização destes sistemas.

As técnicas potencialmente úteis para o monitoramento do envelhecimento dos sistemas eletrônicos podem ser agrupadas em seis métodos: testes periódicos, modelagem de confiabilidade, medidas de resistência, comparação de sinais, medições externas (passivas) e internas (ativas), cada uma representando diferentes abordagens teóricas para detecção e avaliação. Cada técnica tem desvantagens e vantagens significativas.

**PALAVRAS-CHAVE**

Confiabilidade, Envelhecimento, Segurança, Módulo, Cartão

## 1. VISÃO GERAL

A função de uma usina nuclear é transformar a energia contida nos elementos combustíveis colocados no núcleo em uma forma técnica e economicamente viável de energia elétrica.

Usinas nucleares funcionam dentro dos mesmos princípios das usinas térmicas convencionais; só que, para gerar o calor, não usa combustão de carvão, óleo ou gás. A matéria-prima da usina é o urânio enriquecido. Isto significa que a maioria do urânio presente nos elementos combustíveis é formado por urânio 238, que não é físsil, e apenas uma pequena porcentagem, em torno de 2,5 % é de urânio 235, apropriado para a geração de energia. Os elementos combustíveis das usinas são compostos por varetas cheias de pequenas pastilhas cerâmicas de dióxido de urânio (UO<sub>2</sub>).

A energia liberada pela fissão, no núcleo do reator, transforma-se rapidamente em calor que aquece a água do Sistema de Refrigeração do Reator. O calor, assim produzido, é transportado pela água do sistema primário aos geradores de vapor, por meio de quatro bombas de refrigeração, em quatro circuitos paralelos. Nos geradores de vapor, a água do sistema primário transfere seu calor, através dos tubos destes geradores, para a água do sistema secundário que transforma-se em vapor saturado. O vapor produzido é expandido nas turbinas as quais acionam o gerador elétrico. Os tubos dos geradores de vapor promovem uma separação entre a água do sistema primário e a do sistema secundário evitando, assim, que substâncias radioativas, eventualmente presentes no sistema de refrigeração do reator, contaminem o circuito água-vapor.

No circuito água-vapor, a água de alimentação dos geradores de vapor é retirada do tanque de água de alimentação por meio das bombas de água de alimentação e preaquecida em trocadores de calor por extrações das turbinas. O vapor, após sua expansão nas turbinas, é condensado nos condensadores e o condensado resultante é conduzido, pelas bombas de condensado principal, ao tanque de água de alimentação onde é promovida uma desgaseificação do mesmo.

As bombas de água de circulação captam a água do mar, ou outra fonte de água de resfriamento, forçam sua passagem pelos condensadores onde ela absorve o calor resultante da condensação do vapor e a descarrega, onde o calor residual é finalmente rejeitado.

A utilização do calor obtido das extrações das turbinas para preaquecer o condensado e a água de alimentação promove uma menor rejeição de calor para o meio ambiente, o que implica num aproveitamento mais eficiente da energia gerada pelo reator.

O gerador elétrico acoplado ao eixo da turbina produz a eletricidade que abastece a rede de energia elétrica. É importante salientar que todos os sistemas de circulação de água são independentes, não havendo contato direto entre eles.

As usinas nucleares possuem sistemas de segurança redundantes, independentes e fisicamente separados, em condições de resfriar o núcleo do reator e os geradores de vapor em situações normais ou de emergência, prevenindo também a ocorrência de acidentes.

Na situação improvável de perda de controle do reator em operação normal, esses sistemas independentes de segurança entram automaticamente em ação para impedir condições operacionais inadmissíveis. Além de todos esses sistemas, as usinas nucleares têm sistemas de segurança passivos, que funcionam sem que precisem ser acionados por dispositivos elétricos. Esses sistemas incluem as numerosas barreiras protetoras de concreto e aço, que protegem as usinas contra impactos externos (terremotos, maremotos, inundações e explosões) ou aumento da pressão no interior da Usina.

Cerca de 95% das substâncias radioativas de uma usina nuclear são geradas no núcleo do reator durante o funcionamento deste, quando da fissão nuclear do combustível. O próprio combustível nuclear funciona como barreira interna, pois a maior parte dos produtos que se originam no processo de fissão nuclear fica retida no interior da estrutura cristalina dessas pastilhas. Apenas uma pequena fração dos produtos de fissão voláteis e gasosos consegue escapar, ficando entretanto retida no interior das varetas que contêm as pastilhas de urânio. Essas varetas são feitas de uma liga especial de zircônio e são hermeticamente seladas. Na eventualidade de microfissura em alguma vareta do elemento combustível, sistemas de monitoramento, purificação e desgaseificação atuam para garantir a segurança da operação do reator.

O sistema de refrigeração do reator funciona como uma barreira estanque, evitando a liberação de substâncias radioativas. O reator tipo água pressurizada, que é o mais utilizado no mundo – cerca de 60% dos reatores em operação no mundo, segundo dados do relatório anual da Agência Internacional de Energia Atômica, de 2012, é projetado para ter características de autorregulação, isto é, com o aumento de temperatura há uma diminuição de potência, exatamente para funcionar como freio automático contra aumentos repentinos de potência.

Ainda assim, para a remota possibilidade de o sistema de refrigeração permitir a liberação não controlada de substâncias radioativas, o reator está contido por um edifício de aço estanque, denominado Prédio de Contenção. Tal barreira é projetada para evitar qualquer liberação de radioatividade no caso do mais sério acidente de falha da

refrigeração do núcleo do reator. Essa contenção de aço está protegida de impactos externos por um edifício de paredes de concreto armado. Durante a operação normal da Usina, a pressão no lado de dentro do edifício do reator é mantida abaixo da pressão atmosférica externa, exatamente para impedir que produtos radioativos possam escapar do interior da Usina para o meio ambiente. Todas essas barreiras são devidamente testadas durante a construção e montagem da Usina, e suas integridades verificadas no decorrer da operação da mesma.

Grande parte das ações que visam a neutralizar ocorrências anormais na usina é automática. Mesmo assim, os operadores de uma usina nuclear são altamente treinados e precisam ser necessariamente licenciados.

## 2. SISTEMAS DE INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

A tarefa da Instrumentação e Controle é tornar possível a operação da usina pelo homem ou por meio de dispositivos automáticos.

Os dispositivos de instrumentação e controle abrangem os sistemas de medição, proteção, controle, acionamento e monitoração, bem como a sala de controle. A condução da operação e da monitoração de todos os sistemas, necessários ao processo de transformação de energia, é efetuada a partir da sala de controle principal. Alguns sistemas auxiliares são operados a partir painéis locais de controle. A sala de controle e os painéis locais de controle estão ligados aos sistemas da usina através de sensores, de mecanismos automáticos e do controle de acionamentos. O estado e a mudança de estado de um sistema são informados, através de sensores analógicos e binários, aos mecanismos automáticos de atuação, controle, proteção e monitoração bem como ao pessoal da sala de controle. Os comandos, necessários para a manutenção da operação requerida de um sistema, chegam aos atuadores através dos controles de acionamento.

## 3. SISTEMA DE PROTEÇÃO DO REATOR

Para a proteção da usina, estão disponíveis, além dos intertravamentos de proteção e dos dispositivos eletrotécnicos de proteção de equipamentos, o Sistema de Proteção do Reator. Dispositivos de proteção conduzem a usina, no caso de situações não permitidas, a uma condição segura. Eles não podem ser desligados nem manualmente nem através de outros dispositivos automáticos.

Um sistema de alarme sinaliza uma aproximação a um valor limite ou a uma condição de perigo, permitindo assim uma intervenção corretiva. O computador de processo é utilizado para melhorar o desempenho da usina. Ele processa uma grande quantidade de informações e as apresenta de uma forma adequada a uma boa condução da operação. Ele assume a monitoração em andamento na usina inteira e fornece os dados necessários ao acompanhamento dos valores medidos ou ao esclarecimento de perturbações surgindo das informando ao pessoal de operação através de monitores de vídeo ou impressoras.

Ao contrário dos medidores, dos sensores e dos controladores, que são partes integrantes dos sistemas, a menos de poucas exceções, os equipamentos de instrumentação e controle estão localizados em um prédio construído com características apropriadas sendo a prova de terremotos e com ambiente controlado. Somente no caso de alguns sistemas, não diretamente envolvidos com a operação da usina, ou que não exigem a presença constante de um operador, está sua instrumentação e controle localizada em armários locais.

O Sistema de Proteção do Reator tem como tarefa, supervisionar e processar as variáveis de processo importantes para a segurança da usina e do meio ambiente e de iniciar ações automáticas de proteção para manter a usina dentro dos limites de segurança limitando as consequências para o pessoal e para o ambiente, no caso de mal funcionamentos e acidentes.. A escolha das variáveis de processo a serem supervisionadas, a seleção de critérios adequados de atuação e sua conexão com os sinais que dão início a ações de proteção decorrem fundamentalmente da análise de acidentes.

O sistema de proteção do reator pertence, juntamente com os dispositivos de segurança ativos e passivos, ao sistema de segurança do reator.

O Sistema de Proteção do Reator não é prejudicado, no que se refere a suas funções de segurança, pela falha de um componente, estando um outro em manutenção ou reparo.

Uma de suas funções visando atingir o objetivo principal, acima definido, é detectar as possíveis falhas e tomar as medidas necessárias para controlá-las.

O Sistema de Proteção do Reator recebe sinais de várias variáveis físicas, e se valores limites dessas variáveis são atingidos, os sinais de saída do sistema de aquisição e tratamento de dados iniciam o desarme do reator e/ou a atuação dos vários sistemas de segurança ativos que fazem parte do Sistema de Segurança da usina, a fim de controlar uma falha de um equipamento ou um acidente.

As funções de segurança do Sistema de Proteção do Reator e das salvaguardas ativas demandam, também, outros sistemas e/ou equipamentos auxiliares (por exemplo, suprimento de potência de emergência, refrigeração de componentes e ventilação os quais são projetados como Sistemas de Segurança Ativos).

O Sistema de Proteção do Reator e os Sistemas de Segurança Ativos são projetados cada um com seus arranjos e funções, de tal modo que mesmo havendo falhas ou defeitos eles desempenham suas funções, no caso de acidentes, sem reduzir a disponibilidade de operação da usina.

Para atender à esses princípios, esses sistemas são redundantes e separados fisicamente entre eles e entre seus subsistemas.

### 3.1. Funções do Sistema de Proteção do Reator

O Sistema de Proteção do Reator tem a função, uma vez recebido os sinais da Usina, de analisá-los na seção lógica e reconhecer as condições limites dos diversos parâmetros como condições acidentais e iniciar as ações necessárias para controlá-los, por meio de atuação de relés, acionando os respectivos Sistemas de Segurança Ativos.

Para atender a estes requisitos o sistema avalia permanentemente os parâmetros de desligamento do reator, realiza as operações de lógica necessária dos valores limites e realiza seu processamento posterior incluindo a ativação dos equipamentos solicitados (bombas, válvulas, etc.).

O Sistema de Proteção do Reator deve garantir um correto início de ações de proteção com prioridade e confiabilidade. Por outro lado, a disponibilidade da Usina não deve ser reduzida em função de falhas simples.

### 3.2. Critérios de Projeto

O Sistema de Proteção do Reator bem como os demais sistemas integrantes do Sistema de Segurança da Usina, são projetados para atingir requisitos unificados com relação a construção mecânica e processamento de sinais.

Esses requisitos estão de acordo com os padrões de proteção mais modernos em nível nacional e internacional, e são os seguintes:

- Falha Consequente

É a falha decorrente de falha anterior. O arranjo do sistema de proteção do reator é feito de forma tal, que a falha de um sistema não é propagada para outros.

- Falha Sistemática

É a falha de componentes devido a origem comum. Ex.: fabricação em série, erro de projeto.

Sempre que possível, falhas comuns tais como erros de projeto ou de fabricação são evitadas em áreas do sistema de proteção do reator através da diversificação física dos critérios de iniciação dos sinais. Quando isto é possível, são usados equipamentos diferentes para aquisição dos sinais.

- Falha Randômica ou Aleatória

É a falha imprevista. Pode ser a falha simples de um componente ou trem. A falha de um único componente no sistema não deve reduzir a disponibilidade da usina.

- Manutenção

Implica na indisponibilidade do equipamento ou até mesmo de todo um trem submetido a trabalhos de manutenção preventiva ou corretiva, em andamento.

### 3.3. Detecção de Falhas

Além dos requisitos discutidos anteriormente, as falhas também devem ser consideradas, pois influenciam a confiabilidade do sistema. Os seguintes requisitos devem ser preenchidos:

- as falhas têm que ser auto-anunciadas ou detectadas por testes funcionais;

- somente entradas analógicas são processadas no sistema de proteção do reator. Falhas de quaisquer módulos da seção lógica são detectadas por comparadores que anunciam quando ocorre um desvio maior do que o permitido;
- falhas na seção de relés são detectadas quando são realizados testes manuais dos sinais de atuação.

Testes funcionais têm que ser realizados com o sistema em operação. Cada sinal de atuação pode ser simulado manualmente no painel do sistema de proteção do reator na sala de controle.

Assim todo o percurso do sinal é testado, desde o sistema de proteção do reator até os elementos de controle, sendo estes realmente atuados. Como estes testes somente podem ser realizados em certas condições de operação, existem intertravamentos para o teste que verificam também se não há sinal real entrando na parte que vai ser testada e se a parte selecionada é a que está sendo testada.

#### 4. MODELAGEM PARA MELHORIA DA CONFIABILIDADE

A confiabilidade da operação das Usinas Nucleares de Angra dos Reis tem base nos sistemas de monitoração e acompanhamento das condições de seus sistemas, equipamentos e estruturas. Para isto foi implantado um Programa de Monitoração da Confiabilidade da Usina que se divide em três pilares:

- Programa de Monitoração de Confiabilidade de Equipamentos e Sistemas de Segurança
- Programa de Monitoração de Confiabilidade de Prédios e Estruturas de Segurança
- Programa de Monitoração de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos de Segurança

Este trabalho tem o objetivo de apresentar a metodologia a ser utilizada para garantir que esta comprovação de confiabilidade relacionada aos sistemas eletrônicos de segurança, seja consistente e proporcione a máxima confiabilidade dos sistemas conduzindo a uma vida útil de extensão máxima e uma redução nas necessidades de trocas e modernizações.

Devemos lembrar sempre que, apesar de uma vida útil extensa, sistemas eletrônicos dependem muito de vários fatores para sua operação correta e segura. Os sistemas eletrônicos de usinas nucleares são projetados com elevado nível de exigências as quais devem ser garantidas ao longo de todo o tempo de vida das usinas. Apesar disto, sabe-se que os sistemas eletrônicos sofrem processos físico-químicos de envelhecimento que podem conduzir a falhas aparentes ou ocultas.

O Programa de Monitoração de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos de Segurança visa monitorar o desempenho dos sistemas eletrônicos no decorrer da sua utilização pela usina através da execução de testes “preditivos” de forma a subsidiar a política de investimentos da empresa na troca ou modernização destes sistemas.

As técnicas potencialmente úteis para o monitoramento do envelhecimento dos sistemas eletrônicos podem ser agrupadas em seis métodos: testes periódicos, modelagem de confiabilidade, medidas de resistência, comparação de sinais, medições externas (passivas) e internas (ativas), cada uma representando diferentes abordagens teóricas para detecção e avaliação. Cada técnica tem desvantagens e vantagens significativas.

A decisão de se aplicar os processos de predição de falhas por envelhecimento através do uso das técnicas existentes pode ser determinada por respostas a perguntas sobre cada sistema, identificando a lógica associada e observando o método recomendado. Existem várias técnicas dentro de cada método de monitoramento que podem ser usadas para melhorar a detecção do envelhecimento do circuito.

##### 4.1. Processo de Decisão

As considerações a fazer neste processo de decisão seriam:

- Importância

O primeiro elemento de decisão é avaliar a importância do circuito para a operação da planta. Circuitos de *importância crítica* para a planta tem que ter uma técnica de monitoração identificada. Em geral são circuitos cuja falha tem um alto potencial para causar desligamento ou indisponibilidade de sistema de segurança. Outros circuitos que são importantes para a operação ou têm histórico de falhas repetidas também são considerados com a mesma ênfase.

- Observabilidade

O segundo elemento de decisão é determinar se a capacidade existente de observar o impacto do envelhecimento nos modos de falha dos circuitos é adequada para os aspectos de segurança e operação da planta.

A existência de precursores observáveis de um evento pode ser identificada através da coleta e análise de eventos envolvendo falhas de circuitos que levam a desligamentos espúrios, indisponibilidade des sistema e a falha de operação de partida de um sistema de backup.

- Detectabilidade

O terceiro elemento de decisão é uma avaliação da capacidade técnica do método para detectar as condições de envelhecimento mais eficazmente do que a abordagem existente.

Podem ser utilizados equipamentos que devem ser capazes de gerar sinais de teste que não interfiram com a função do circuito, use o software de rede, capturar e armazenar dados, avaliar tendências e gerar avisos automáticos para questões do envelhecimento.

- Previsibilidade

O quarto elemento de decisão é uma avaliação da capacidade de melhorar a precisão do sistema atual de previsão de falhas por envelhecimento. Isso geralmente requer uma avaliação da probabilidade de falha devido a envelhecimento em um ponto no tempo.

- Reparo

O quinto elemento de decisão é determinar se o método selecionado pode melhorar o processo de reparo. No caso de um sistema de detecção de envelhecimento, o pre aviso e a determinação clara o ponto de falha poderiam apoiar a comutação para a operação manual a substituição das placas. Isso evitaria uma paralisação da usina para reparo do circuito.

Ao longo dos anos de operação das usinas já se acumularam alguns cartões com defeitos aparentes e outros cuja causa de falha não foi determinada. Para se avaliar estes cartões, suas falhas e os reflexos nos outros que estão instalados, foi necessária a testagem individual e o uso dos dados obtidos para dois tipos principais de avaliação: o primeiro, relacionado à estatística de falhas por componente, é importante para se determinar a existência de componentes com taxas de falhas maiores que devam ter sua vida útil determinada e avaliada a possibilidade de troca preventiva do cartão e seu reparo.

Foi detectada uma incidencia maior de falhas em capacitores, tanto os eletroliticos quanto os de tantalio. Como estes elementos são de fácil reposição o reparo é viável tanto técnica quanto financeiramente.

## 5. METODOLOGIA ATUAL

Os métodos utilizados até o momento para o acompanhamento do desempenho dos sistemas eletronicos são:

- Aplicação de Especificações Técnicas para determinar a realização dos Testes Periódicos,
- Substituição de um cartão com base em um MTBF estimado usando Método Estatístico de Confiabilidade de Componente
- Uso de Modelos de Avaliação da Condição Operacional e Monitoração de Confiabilidade para prever a necessidade de substituição.
  - O modelo de Monitoração da Condição utiliza a performance do cartão no passado para avaliar a probabilidade de falha.
  - O modelo de Avaliação Operacional define a probabilidade de falha futura (proximo ciclo e inclui faixas de aceitação estatísticas.
- Uso de Monitoração Contínua existente nos proprios cartões para alerta quanto aos precursores de falha.

## 6. REVISÃO METODOLÓGICA

Para se fazer este trabalho de rever os métodos utilizados, de forma a gerenciar os aspectos de conhecimento relacionados com os mecanismos de envelhecimento dos Componentes de Sistemas Eletrônicos e seus efeitos nos Sistemas da Usina como um todo, foram avaliados todos os sistemas de instrumentação e controle de forma a se determinar a priorização necessária e a partir desta priorização o sistema foi dividido em diversas partes, com

funções determinadas. Cada um destes trechos será analisado tendo em vista a sua função no sistema sendo determinado ao final, seus modos de falha e os efeitos destas falhas no funcionamento do sistema.

Adicionalmente foram revistos todos os testes funcionais de "surveillance", que são normalmente determinados nas especificações técnicas das usinas, sendo compostos por calibrações e verificações de operabilidade. Estes testes incluem verificação dos circuitos e a avaliação dos resultados é usada para verificar que o circuito, como um todo, é capaz de operar como é suposto que opere. Nesta revisão se determinou a capacidade destes testes em prover monitoração do envelhecimento dos cartões.

Além destes testes funcionais foi revista a aplicação das inspeções visuais para a determinação de problemas nos cartões.

Estes testes têm como principais vantagens o fato de que as anomalias relacionadas a envelhecimento podem ser observadas nos cartões eletrônicos sem ferramentas especiais ou outros custos de novos desenvolvimentos.

Enquanto que os maiores problemas estão relacionados com o fato de que os cartões devem ser removidos para inspeção, o que pode danificar os conectores ou causar outros problemas relacionados com o manuseio dos cartões e que muitos precursores de modos de falha por envelhecimento de cartões não são observáveis.

Nos modelos de confiabilidade a avaliação estatística das falhas de componentes em uma grande população sob condições de envelhecimento acelerado pode ser utilizada para gerar taxas de falhas que podem ser aplicadas em componentes similares em outras aplicações. Estes dados, quando fornecidos pelo fabricante, podem ser utilizados para, comparativamente, retroagir as medições das condições aceleradas de volta às condições de operação real dos componentes. Assim o modelo de confiabilidade para os cartões é baseado na soma dos seus componentes.

Neste modelo a avaliação pode ser feita a qualquer momento e não se necessita o desligamento da usina não interferindo com a operação e os resultados podem ser ajustados ou afinados aos dados reais de campo e fornecerem um novo ponto de partida para a definição de intervalos de inspeção, testes, manutenção ou calibração para cartões eletrônicos.

Entretanto os resultados obtidos assumem que o cartão eletrônico específico é um exemplo de vários cartões idênticos. Os dados de entrada proveem de falhas agrupadas de equipamentos similares e se assume que a fabricação, o stress operacional e o stress por temperatura são relacionados ao MTBF através do modelo de Arrhenius.

Assim sendo o nível de confiança associado ao MTBF estimado contém uma grande incerteza e pode não endereçar todos os problemas.

Também foi avaliada a comparação de sinais como modelo de acompanhamento de envelhecimento. A teoria para comparação de sinais é simplesmente que, se duas medidas deveriam ser as mesmas e não são, alguma coisa mudou tal como o envelhecimento de um componente do cartão. Suas maiores vantagens são que o processo de comparação fornece um bom indicador de uma mudança no sistema em um dos circuitos paralelos. No caso de envelhecimento, as tendências das medidas do circuito podem ser usadas para identificar o circuito degradado.

O monitoramento e a comparação de sistemas redundantes podem também identificar circuitos descalibrados. O monitoramento pode ser executado enquanto o circuito estiver on-line.

No modelo de medições passivas, que é suportado pela teoria de que a degradação por envelhecimento dentro do sistema causará variações nos parâmetros elétricos.

Neste caso a corrente normal para o circuito pode ser medida continuamente. Quando são detectadas variações no fluxo de corrente em um determinado estado operacional pode acontecer a identificação dos precursores da falha do circuito.

A segunda técnica é o uso de medidas ambientais, como temperatura, vibração, e qualidade do ar perto do cartão como uma medida dos fatores de envelhecimento. Então o impacto da medida é tratado como o caso de modelagem de confiabilidade

Sua vantagem é que não há nenhuma interferência entre o processo de medição e os circuitos. Isto significa que nenhum modo de falha é introduzido por uma complicação adicional do sistema de monitoração, que é independente do cartão em si.

Outro modelo avaliado foi o de verificação e análise da assinatura porque os efeitos do envelhecimento no circuito podem ser detectados como alterações nas medidas de resposta aos sinais de perturbações ao longo do tempo

O alerta de um pulso de teste poderia ser tão simples como uma comparação do nível de tensão do pulso de retorno com um pulso de retorno padrão.

Um sinal de alerta pode ser acionado se o pulso de retorno cai fora das especificações de tempo, amplitude, duração ou a resposta de pulso quando o cartão é novo, ou quando uma tendência mostra que; por exemplo, a amplitude do pulso está tendendo para baixo e a duração do pulso está aumentando.

A avaliação de tais tendências é referida como análise de assinatura. Uma vez que a condição precursora de falha do circuito é identificada, devem ser feitas mais investigações dos cartões do circuito.

O trabalho prevê a coleta de dados com os modelos citados durante, pelo menos, três ciclos de operação para se fazer a avaliação do potencial das técnicas adotadas em prever as falhas por envelhecimento nos sistemas de proteção e assim poder ser feita a revisão da programação da sua manutenção e também rever a política de modernização dos sistemas adotando uma priorização baseada nos dados obtidos.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EPRI – 1011709 – Evaluating the Effects of Aging on Electronic Instrument and Control Circuit Boards and Components in Nuclear Power Plants, EPRI ,2005
- [2] AP-913 Ver. 2 – Equipment Reliability Process Description, INPO, 2011
- [3] TECDOC-1147 - Management of Ageing of I&C Equipment in Nuclear Power Plants , IAEA, 2000
- [4] MIL-HDBK-217F - Reliability Prediction of Electronic Equipment – Departamento de Defesa dos Estados Unidos, DOD 1995
- [5] Lamarsh, J.R., Introduction to Nuclear Reactor Theory, 1996

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Sérgio Dias Costa

Engenheiro mecânico, mestrando em engenharia nuclear pelo Instituto de Energia Nuclear, no Rio de Janeiro. Foi gerente de manutenção na Usina Nuclear de Angra 2 e responsável pela implantação do programa de monitoração da confiabilidade. É licenciado como operador sênior de reator na Usina Nuclear de Angra 2 e foi gerente de Engenharia de Manutenção na Central Nuclear de Angra dos Reis. É membro do comitê de Gestão de Ativos da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT e conselheiro da Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos – ABRAMAN.