



SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GPC 11
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE EM SISTEMAS DE POTÊNCIA – GPC

POLÍTICA DE MANUTENÇÃO DE RELÉS DIGITAIS DA CEMIG

Gilberto José Rigotto Júnior
CEMIG Geração e Transmissão

João Luiz de Oliveira Gomes (*)
CEMIG Distribuição

RESUMO

A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) desenvolveu e se encontra em fase de implantação uma metodologia para manutenção em relés digitais, em função da urgência na sua definição para o cotidiano das equipes de manutenção de proteção. Grande quantidade de proteções com periodicidade de manutenção vencida, colocam a manutenção de relés digitais em desvantagem frente à manutenção de outros equipamentos como relés eletromecânicos, estáticos, transdutores e circuitos de controle. Com esta definição pretende-se resgatar este passivo, otimizando a manutenção desses relés com a maximização da utilização das características da proteção digital: autoteste, comunicação, registros de oscilografias e eventos.

PALAVRAS-CHAVE: Operação. Manutenção. Política de Manutenção. Relés Digitais.

1.0 – INTRODUÇÃO

A manutenção de relés de proteção digitais permaneceu à espera de critérios, definição de periodicidades, planos e instruções de manutenção desde seu ingresso definitivo na Cemig e nas outras concessionárias ao redor do mundo, em meados dos anos 90, como tecnologia aceita e praticada, em substituição às anteriores estática e eletromecânica.

Em escala mundial, não havia experiência ou estudos que norteassem critérios de manutenção de relés digitais, por isso foi definida a princípio uma periodicidade de 5 anos, por sugestão do primeiro fabricante desse tipo de proteção a ser instalado na Cemig, deixando o assunto para ser estudado posteriormente, quando houvesse maior experiência com a tecnologia digital e critérios mais claros a serem seguidos.

Os métodos antigos de manutenção foram adaptados à nova tecnologia, definindo uma periodicidade e submetendo os relés digitais a ensaios como se fossem eletromecânicos, acompanhando a evolução dos resultados com o objetivo de prever ou de detectar falhas, sempre com o objetivo de aumentar ao máximo sua confiabilidade e disponibilidade, como prioridade em relação aos custos de manutenção.

As características intrínsecas dessa tecnologia, como diferentes modelos de relés, softwares, agregação de funções, flexibilidade, projetos sem padronização, fizeram com que surgissem problemas inerentes, principalmente de assimilação e disseminação do domínio tecnológico de cada modelo pelas diversas equipes de manutenção, tornando-se muito difícil ou inviabilizando sua manutenção da forma como vinha sendo feita.

Este documento se destina a fornecer diretrizes básicas para a atividade de manutenção de relés digitais ao longo de toda sua vida útil, desde a admissão da primeira unidade do primeiro modelo até sua baixa. O tratamento dado à questão, portanto, é de caráter geral, de modo que o objetivo é definir os tipos de manutenção e a abordagem do relé em cada um deles, bem como as ferramentas necessárias e as responsabilidades. Não é objeto deste trabalho definição de limites de testes e detalhamento de cada tipo de manutenção, assunto que deverá ser devidamente tratado em instruções específicas. Todas as definições e métodos propostos são relativos a Cemig Distribuição.

* CEMIG – Avenida Bábata Camargos, 789 – Cidade Industrial – 32210-180 – Contagem – MG
Fone: (31)3329-5213 – Fax (31)3329-5560 – e-mail: joalog@cemig.com.br

1.1 A evolução das tecnologias de relés de proteção

A primeira tecnologia de relés os construía a partir de componentes discretos como eletro-ímã, molas, discos, mancais e tornou possível a evolução dos sistemas elétricos em todo o mundo, realizando e implementando as filosofias de proteção até hoje ensinada nas escolas e implantada nesses sistemas. Tais componentes dos relés de proteção estão sempre sujeitos a alterações temporárias ou permanentes, exigindo calibração periódica ou substituição, caso não seja possível ou economicamente viável sua recuperação. A manutenção tinha características padronizadas e a diferença entre modelos não era expressiva, os treinamentos e instruções, bem como a execução da manutenção fluíam naturalmente. O segundo momento tecnológico, representado pelos relés estáticos, pouco alterou esse estado de coisas. Composto de componentes eletrônicos, o relé estático (nomenclatura que faz referência à tecnologia anterior, que possuía componentes móveis) trata analogicamente as grandezas de referência e também exige manutenção preventiva periódica frequente devido a alterações de características de seus componentes. Os relés digitais são construídos de maneira a desempenhar as funções e filosofias de proteção de sistemas elétricos, porém com características que os distinguem das tecnologias anteriores. Necessitam de alimentação, cuja tensão nominal na Cemig é padronizada em 125 VCC, possuem um sistema de aquisição de sinais em corrente alternada (CA), processadores, componentes de memória, onde ficam armazenados algoritmos e lógicas, ajustes e demais parametrizações, contatos de entrada que controlam o relé e contatos de saída que controlam outros equipamentos, conforme esquema apresentado na Figura 1.

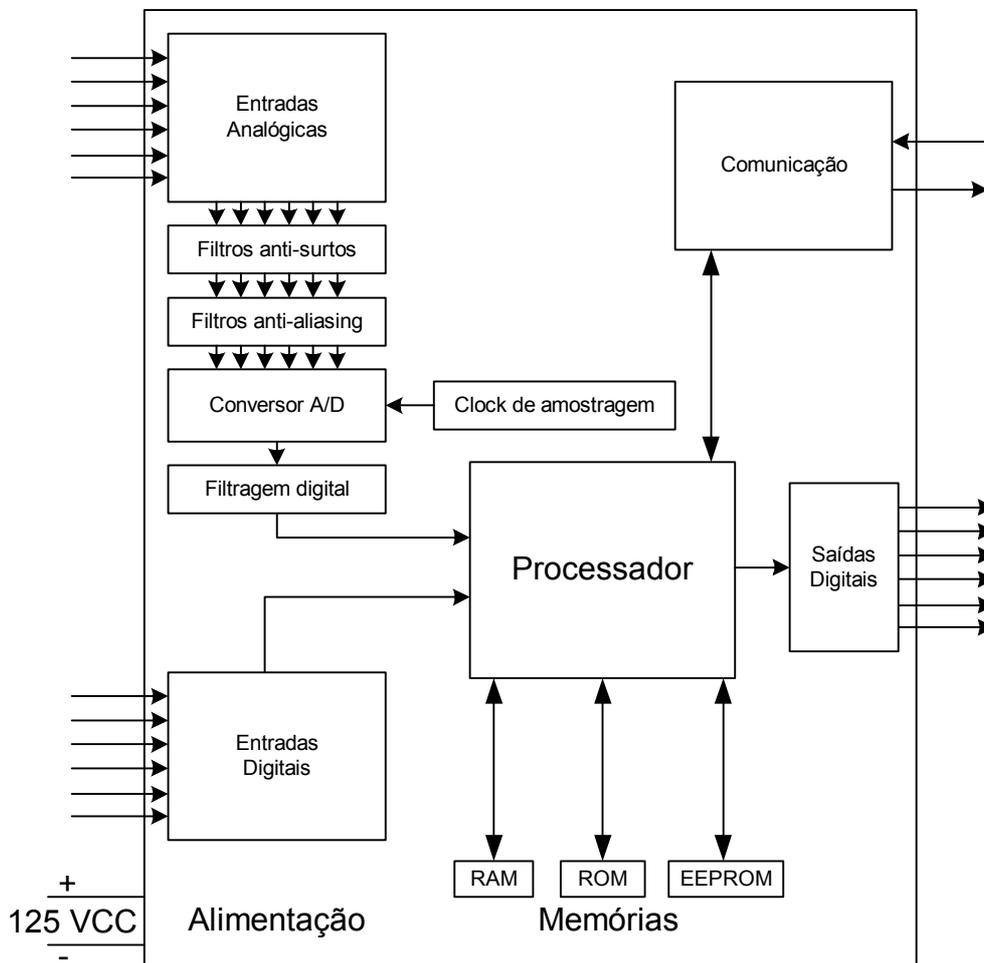


FIGURA 1 – Esquema simplificado do relé digital

A característica mais marcante de relés digitais no tocante à manutenção, e que os diferencia dos anteriores, é o autoteste. Ainda que a tecnologia estática já possua circuitos *watch-dog*, o autoteste (também chamado de automonitoramento, auto-supervisão, autocheck ou detecção de falha interna) dos relés digitais tem a capacidade de aumentar sua confiabilidade, indicando falhas que só poderiam ser detectadas em manutenções invasivas ou após falha em operação. O autoteste de relés digitais, aliado às suas demais características principais, como integração de funções e maior imunidade eletromagnética devido a trabalhar com algoritmos numéricos, levam à

necessidade de uma revisão completa dos métodos de manutenção, incluindo-se as estruturas vigentes, composição e atribuições das atividades de manutenção, operação, planejamento e projeto.

Nos dias atuais a Cemig já acumula mais de 10 anos de experiência no projeto, parametrização, comissionamento, operação e manutenção desses relés. Há uma carência nacional e internacional na definição de critérios de manutenção de relés digitais, tanto de concessionárias quanto de fabricantes, bem como existem vários trabalhos publicados sobre a matéria, de pesquisadores, fabricantes, usuários e organismos internacionais, como Cigré e IEEE. Pode-se afirmar que os custos de manutenção periódica de sistemas de proteção digitais sofrem grande impacto uma vez que, pelas próprias características dessa tecnologia, a necessidade de cuidados de manutenção é enormemente reduzida, ou até mesmo eliminada. Grande quantidade de proteções com periodicidade de manutenção vencida, falta de treinamento e equipamentos de teste colocam a manutenção de relés digitais em desvantagem frente a manutenção de outros equipamentos como relés eletromecânicos, estáticos, transdutores e circuitos de controle. Com esta definição pretende-se resgatar este passivo, otimizando a manutenção desses relés com a maximização da utilização das características da proteção digital: autoteste, comunicação, registros de oscilografias e eventos.

2.0 – MANUTENÇÃO: BASE TEÓRICA

Para o perfeito entendimento da terminologia utilizada neste trabalho é necessária a distinção entre “manutenção” e “ensaio” ou “teste”. O termo “manutenção” tem significado amplo, relacionado a toda uma atividade nas empresas, e é definido na referência [1] conforme abaixo.

“Manutenção é um conjunto de atividades técnicas e administrativas cuja finalidade é conservar ou restituir a um item as condições que lhe permitam realizar uma função. Compreende todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição especificada”.

“Ensaio é a ação que se realiza com o objetivo de medir, quantificar ou esclarecer uma característica ou prioridade”.

Portanto, ensaio ou teste será utilizado neste texto para designar uma ação de verificação de funcionalidade do relé digital e o termo manutenção possui um sentido maior, mais amplo, aqui significa teste e calibração, acolá toda a atividade em uma empresa.

“Política de manutenção estabelece a estratégia, diretrizes e pautas a seguir na organização funcional de manutenção, formando as etapas de planejamento, programação, preparação, execução e avaliação de resultados”.

“Manutenção preditiva é toda aquela que permite garantir a qualidade de serviço desejada de um item, sobre a base da aplicação sistemática de técnicas de análises, utilizando meios de supervisão ou de amostra, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir ao máximo a manutenção corretiva”.

“Manutenção preventiva é toda aquela que se realiza sobre um item que se encontra em condições normais de operação, com o objetivo de reduzir a probabilidade de falha ou de deficiência no funcionamento, podendo-se prevenir e programar”.

“Manutenção corretiva é aquela efetuada logo depois de ocorrida uma falha e destinada a voltar a colocar o item em condições de executar sua função requerida”.

“Manutenção detectiva ou condicional se denomina a todas aquelas tarefas que se executam em busca de falhas, também denominadas “check-list”, testes operativos ou provas funcionais”.

Segundo a referência [2], a manutenção de relés digitais deve ser abordada de dois pontos de vista, correspondentes a diferentes momentos da sua vida útil: testes de tipo e testes individuais.

3.0 – TESTES DE TIPO

O processo de manutenção de um sistema de proteção digital tem início assim que o relé é adquirido pela empresa. Os testes de tipo devem ser realizados nesse momento.

Todo modelo de relé digital que seja instalado pela primeira vez na Cemig deve ser submetido a testes de tipo. Toda a manutenção a seguir depende dos testes de tipo, pois é nele que são certificados o software e o hardware da proteção numérica, eliminando a necessidade posterior de levantamento de curvas características, temporizações e outras considerações.

O “firmware” do relé digital é considerado como especificação de tipo do relé, bem como seu hardware, ou sua estrutura física, posto que uma nova versão de “firmware” de um relé pode alterar significativamente suas funções, como se fosse um novo modelo, e deve ser submetido aos testes de tipo. Alternativamente pode ser dispensado o teste de tipo, a critério da área de Engenharia de Manutenção, caso o fabricante apresente um documento contendo as modificações introduzidas pelo novo “firmware” e sejam testadas apenas essas modificações.

Para que esta filosofia de manutenção seja implementada e acreditada é necessário que cada modelo de relé digital instalado na empresa possua um relatório de testes de tipo.

Os testes de tipo podem ser realizados pelo fabricante ou outro laboratório com certificação acreditada internacionalmente, com ou sem acompanhamento de inspetor da Cemig, a critério da área de Engenharia de Manutenção. Os diferentes tipos de teste de tipo subdividem-se em teste de conformidade e desempenho.

3.1 Testes de conformidade

Os testes de conformidade são objetivos, ou seja, visam verificar a proteção de acordo com especificações. São testes geralmente realizados pelo próprio fabricante ou por um laboratório acreditado internacionalmente contratado para isso quando uma nova plataforma de relé de proteção é produzida. Esses testes são separados entre testes de conformidade funcional e de conformidade tecnológica.

3.1.1 Testes de conformidade funcional

São testes que verificam a funcionalidade do relé, suas características contra as especificações através de sinais analíticos. Geralmente testam a exatidão do relé e seus algoritmos.

3.1.2 Testes de conformidade tecnológica

Estes testes não consideram a funcionalidade do relé, mas sim como ele responde a perturbações externas e falhas internas. Geralmente podem ser desconectados do tipo do relé, valendo para uma família de modelos de *hardware* igual e verificam as suas características de qualidade (isolamento, ambiental, compatibilidade eletromagnética), avaliação de confiabilidade (disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade) e efetividade do autoteste.

3.2 Testes de desempenho

O objetivo dos testes de desempenho de tipo é verificar o comportamento da proteção diante de condições reais de sistema elétrico que colocam a proteção no limite de desempenho, como resistência de falta, carga, relação SIR (*Surge Impedance Ratio*), transitórios, acoplamento mútuo. São testes que revelam mais acuradamente o comportamento da proteção e geralmente são realizados sob critérios definidos pelo cliente e sob sua supervisão. Requerem equipamentos de teste muito mais sofisticados do que os usados em testes de comissionamento, chamados simuladores digitais em tempo real. A topologia, modelagem e detalhamento do sistema a ser utilizado na simulação, bem como os ajustes, funções, esquemas e lógicas implementados nos relés, faltas e condições de sistema a serem simuladas, devem ser definidos pela Cemig previamente.

Esses testes são separados entre testes de desempenho funcional e desempenho do esquema de proteção. A distinção entre testes de função e de esquema é feita devido ao relé numérico ser multifuncional.

3.2.1 Testes de desempenho de função

São testes realizados em cada função separadamente, e seu desempenho é minuciosamente avaliado.

3.2.2 Testes de desempenho de esquema

São testes realizados com as funções trabalhando integradamente, sob condições o mais próximo possível das reais encontradas no sistema elétrico e na aplicação a que se destina. São ensaios de comportamento em regime, dinâmicos e transitórios. Os resultados podem ser usados para orientação quanto aos ajustes da proteção e limitações dos esquemas possíveis. Tais testes de certificação não são necessariamente associados a uma aplicação real, nesses casos devem cobrir as piores condições possíveis de aplicação.

3.3 Testes de atualização de tipo

Teoricamente o relé deve ser submetido aos testes de tipo para toda nova versão do software ou do *"firmware"*, porém na prática isto é impossível devido a análise de custo-benefício. Porém podem ser realizados testes de menor envergadura, verificando apenas os componentes modificados e que as modificações ou funções incluídas não interferem no funcionamento de outras funções ou esquemas. Fica a cargo das áreas de engenharia de manutenção a definição quantitativa e qualitativa da sua necessidade.

A melhor política, entretanto, é não promover atualizações de *"firmware"* em proteções já certificadas ou que já estejam em serviço e com bom desempenho, a não ser que essa atualização seja absolutamente necessária para corrigir problemas não detectados anteriormente ou melhorias desejáveis para o sistema.

4.0 – TESTES INDIVIDUAIS DE INSPEÇÃO E COMISSONAMENTO

Os testes de comissionamento podem ser considerados no âmbito dos testes individuais, que são executados em cada unidade adquirida pela empresa. Antes de sua entrada em operação o relé deve passar pelos ensaios de inspeção e pelos testes de comissionamento.

4.1 Ensaio de inspeção

Os ensaios de inspeção, ou de aceitação, têm o objetivo de verificar a remessa em relação à conformidade com o pedido e funcionamento básico correto, com base nas normas específicas. Podem ser feitos na fábrica, na concessionária ou durante o comissionamento. Na Cemig são de responsabilidade da Gerência de Qualidade de Material e Fornecedores. Eventualmente a Engenharia de Manutenção é acionada para executar tais testes.

4.2 Testes de comissionamento

Os testes de comissionamento envolvem todos os aspectos relativos à utilização específica do relé: entradas e saídas digitais e analógicas, conformidade de aplicação, conformidade de ajustes e funcionamento, integração de funções, integração com outros equipamentos da instalação e medição de ângulos.

Uma vez tenham sido feitos testes aceitáveis de desempenho de função e de esquema dentro dos ensaios de tipo, os testes de comissionamento podem ser reduzidos. Os algoritmos do relé e suas características de operação já terão sido testados confiavelmente e não há necessidade de seu levantamento, podendo se concentrar no hardware e na aplicação para fins de comissionamento.

Pode-se resumir o objetivo dos ensaios de comissionamento em ensaios que visam verificar o funcionamento do hardware a entrar em serviço e testes que verificam os ajustes e funções parametrizadas operando integradamente, bem como do relé instalado no painel, acoplado à fiação local, recebendo e fornecendo grandezas analógicas, sinais digitais e comunicação com outros equipamentos da subestação, como TPs, TCs, chaves, disjuntores, RDP (Registrador Digital de Perturbação), UTR (Unidade Terminal Remota), outros relés e IEDs (*Intelligent Electronic Devices*).

Os testes de verificação do hardware e das funções parametrizadas pela área de estudos pode ser em laboratório ou no campo. É muito mais desejável que sejam feitos no laboratório, onde normalmente há mais tempo e melhores condições para realização de todas as condições necessárias. Uma vez que após esses testes o relé deverá ser instalado, atendendo a programações de construção e comissionamento, ele deverá estar disponível para instalação 30 dias antes da energização final do circuito, certificado tanto quanto ao seu hardware quanto à aplicação específica. Assim, considerando o atendimento de programação de testes em laboratório e o prazo para realização dos testes e eventuais correções de ajustes, estudos e treinamento, deve ser reservado um período de 15 dias antes do seu envio para instalação, dedicados aos testes em laboratório, perfazendo um total de 45 dias antes da energização final do relé, para que ele esteja disponível para os testes de comissionamento no laboratório de proteção e controle da equipe responsável.

Este prazo tem impacto na emissão dos ajustes e parametrizações pela equipe de estudos de operação, que deverá emitir o Pedido de Serviço (PS) contendo todos os dados referentes à aplicação 45 dias antes da energização final do circuito. Esse processo é de responsabilidade da Gerência de Engenharia de Operação.

Por outro lado, tem impacto no processo de aquisição, inspeção e recepção dos equipamentos, que deverá disponibilizar os relés para testes e todos os desenhos elétricos (aprovados) da obra também 45 dias antes da energização do circuito. Esse processo é de responsabilidade da Superintendência de Expansão das Redes de Transmissão e Subtransmissão.

A data de entrega do relé para instalação, de responsabilidade da Gerência de Engenharia de Manutenção, portanto, será contada de 15 dias a partir do recebimento das parametrizações e da unidade para teste, e deverá ser de no mínimo 30 dias antes da energização final do circuito e medição de ângulos.

Relés de aplicação semelhante, numa mesma instalação, podem ser submetidos aos mesmos testes, agilizando os ensaios, assim esse prazo não se refere a cada unidade, mas a todos os relés de um mesmo vão, com a mesma filosofia de proteção.

Caso os testes sejam realizados no campo valem os mesmos prazos para teste da unidade e sua aplicação.

Após instalação definitiva no painel, o sistema de proteção é testado integradamente com os demais equipamentos da subestação e são realizados os testes de religamento automático, comando manual, controle de outros equipamentos, controle de outros equipamentos controlando o sistema de proteção, testes de comunicação e testes de medição de ângulos. Os testes de comunicação verificam o funcionamento das redes de comunicação, com seus respectivos protocolos enviando e recebendo informações e comandos.

A medição de ângulos, tradicionalmente e vastamente assim conhecida na Cemig devido ao uso primitivo do medidor de ângulos e outros instrumentos inseridos nos circuitos CA, se destina a verificar as conexões de corrente alternada do relé, sua correta polarização, as relações de TP e TC, ponto de aterramento dos fechamentos estrela e continuidade desses circuitos.

Entretanto, para a tecnologia digital, em função de seus altamente convenientes recursos de oscilografia, registro de eventos e integração de funções, tem tratamento diferente e deve ser objeto de instrução e treinamento específicos. Esses procedimentos já vêm sendo adotados desde o início da instalação de sistemas digitais, mas estão para serem alinhados e normatizados. Dentre suas principais vantagens pode ser citada a dispensa de interrupção do circuito de corrente para realização das medições, o que resulta em ganhos óbvios de segurança, qualidade e precisão do procedimento.

5.0 – TESTES PERIÓDICOS

O objetivo da manutenção da proteção, de um modo geral, é aumentar ao máximo a disponibilidade tanto dos equipamentos de proteção quanto dos componentes protegidos, minimizar o risco de não operação e operação indevida, com otimização de custos e máxima confiabilidade. O atendimento balanceado de todas essas premissas é conseguido através de metodologias e periodicidade de manutenções, ou mais apropriadamente no caso de relés digitais, os testes de rotina.

Nas tecnologias eletromecânica e estática uma falha do relé só é percebida durante o teste ou devido a uma operação indevida ou recusa de operação. A confiabilidade é obtida com freqüentes manutenções de rotina, que envolvem testes e calibrações. Na Cemig essa periodicidade atualmente é, em média, de 2 anos. Essa manutenção é basicamente preventiva, uma vez que os métodos preditivos são muito difíceis de serem aplicados a esse tipo de proteção. Nesses relés a manutenção é invasiva, isto é, o relé é retirado de serviço, colocado na bancada, são aplicadas correntes e tensões e feitas calibrações ou reparos, se necessário. Neste sentido, a necessidade de manutenção preventiva de relés digitais é questionável.

Na tecnologia digital uma falha pode levar aos mesmos problemas de operação, entretanto, em operação normal o relé numérico possui o autoteste, que indica falhas internas antes que elas provoquem falhas de operação.

O autoteste, característico da proteção digital, representa uma grande mudança nos conceitos de manutenção preventiva, ou periódica. A chave é a periodicidade em que são realizados os testes, tornando a manutenção desses relés muito mais detectiva ou condicional. O autoteste é realizado com periodicidade de milissegundos e informa via saída digital se o relé está ou não funcional. Sua principal limitação é o grau de cobertura do teste, que geralmente não inclui entradas e saídas analógicas e digitais.

Após os ensaios de tipo e de comissionamento, aliados ao autoteste, muito pouco resta a verificar periodicamente em relés digitais. Com a verificação das medições do relé, através de oscilografias e indicações e testes de suas entradas e saídas digitais através de seus registros de eventos e de outros IEDs, como outros relés, RDPs e UTRs, pode-se garantir a disponibilidade da proteção, no que diz respeito a realizar sua função no sistema elétrico. Não há necessidade de levantamento de características e temporizações, uma vez que o modelo foi certificado no teste de tipo.

Relés com autoteste podem ter sua periodicidade de ensaio de rotina muito reduzida ou mesmo eliminada, e isto pode ser provado através de análise de probabilidades. Cresce a importância da análise de ocorrências no sistema elétrico com atuação da proteção. Os registros de oscilografias, eventos, medições devem ser encarados como fontes preciosas de informação para a manutenção de sistemas de proteção digitais, até mesmo substituindo ensaios periódicos, com grandes ganhos na redução de custos de manutenção.

Há empresas que simplesmente não fazem ensaios periódicos em relés digitais. Outras determinaram uma periodicidade maior do que relés eletromecânicos e estáticos. Para determinação da periodicidade de ensaios em relés digitais deve-se ter em mente sua probabilidade de falha e sua vida útil.

Várias são as abordagens que podem ser utilizadas para definição da periodicidade de manutenção de relés digitais. O trabalho "*Philosophies for Testing Protective Relays*" faz uma análise profunda do tema, baseada nas características dos relés digitais e considerações do *Mean Time Between Failures (tempo transcorrido entre duas falhas – MTBF)*, vida útil, confiabilidade e probabilidade de falha baseada no modelo de *Markov*. Em linhas gerais conclui que, em relés com autoteste, seu MTBF tem importância reduzida em relação aos relés sem essa função, e podem ter seu intervalo entre manutenções, ou testes, dilatado. Testes de injeção de grandezas, com retirada de operação, manuseio, alteração de ajustes e parametrizações durante o teste, podem causar operação indevida ou introduzir erros não existentes anteriormente e não contribuem para aumentar a disponibilidade e confiabilidade de relés digitais com autoteste.

O guia da Cigré comenta que há países, como na Alemanha, onde há recomendação para testes de monitoramento a cada 2 anos e testes de injeção de grandezas a cada 4 anos. Por outro lado, considera desejável realizar um teste completo no relé antes do fim da garantia, de 1 a 2 anos após o comissionamento, garantindo o funcionamento da proteção para a fase de testes periódicos à frente.

Como um conjunto mínimo de testes periódicos, devem ser testados os componentes que não são supervisionados. Estes testes incluem o controle do conversor A/D (analógico/digital), a verificação de ajustes, a verificação que o alarme remoto proveniente do contato de auto-supervisão está sendo recebido pelo centro de operação, a verificação dos contatos de *trip* e circuitos entre o relé e o disjuntor, e o teste do esquema de teleproteção e religamento automático.

Entretanto, quando a manutenção baseada na condição é utilizada, o guia considera que não são necessários testes periódicos.

A vida útil de relés digitais é estimada pelos próprios fabricantes em 15 anos. Apesar da surpresa que isso pode causar, torna-se bastante razoável ao se imaginar como seria difícil conseguir um processador ou uma placa de equipamento digital, um computador por exemplo, fabricado há 15 anos atrás. A tecnologia digital evoluiu de maneira extremamente rápida e os fabricantes geralmente fornecem garantia de reposição de peças até 10 anos após o fornecimento. Assim, na ocorrência de falha de componente após o período de garantia e não havendo disponibilidade de peças de reposição, não haverá escolha senão substituição completa de toda a unidade. Uma vez que essas falhas serão causadas por fadiga de componentes, todas as unidades fabricadas no mesmo período estarão sujeitas à mesma falha, podendo-se antever substituições e mudança de arquiteturas cada vez mais freqüentes, com velocidade muito maior do que da tecnologia eletromecânica. Pode-se afirmar que o MTBF

previsto pelos fabricantes de equipamentos digitais é muito maior do que sua previsão de vida útil, tornando-se um parâmetro irrelevante para determinação de periodicidade de manutenção.

Considerando a vida útil reduzida de relés digitais, seu automonitoramento, suas facilidades de supervisão e análise de ocorrências, os componentes e funções não monitorados pelo autoteste e a conjuntura de recursos de manutenção, avalia-se como desnecessária a manutenção periódica com testes de injeção de grandezas.

A Cemig assume uma política de manutenção periódica de relés digitais baseada nos seguintes aspectos:

- O autoteste dos relés digitais é considerado teste periódico satisfatório para grande parte das funções desses relés.
- Toda ocorrência envolvendo relés digitais deve ser tratada como um teste ou monitoramento periódico. Devem ser analisados e certificados os seguintes aspectos:
 - a) entradas analógicas: medição correta das grandezas conforme esperado (valores pré-falta e durante o curto-circuito). As fontes de dados esperados são medições de outros IEDs e instrumentos, RDP, UTR, programas de simulação de curto-circuito, fluxo de potência, estimador de estado;
 - b) entradas e saídas digitais: confrontar registros de eventos do relé e outros IEDs com registros do RDP e UTR;
 - c) operação de funções de proteção: análise das funções com bloqueio ou operação esperada para a respectiva falta e seus tempos, como sobrecorrente, distância, religamento automático, cheque de sincronismo, oscilação de potência, bloqueio por harmônicos, falha de disjuntor, lógicas implementadas e todas as demais funções habilitadas;
 - d) circuitos externos: polarização do relé, RTC, RTP, circuitos de *trip* e fechamento, e demais circuitos de controle e supervisão (verificação típica de testes de recepção e se destina a procurar por eventuais falhas de comissionamento);
 - e) operação de equipamentos primários: tempo de fechamento e abertura de disjuntores e chaves, transitórios e valores de regime permanente de transformadores, linhas de transmissão, bancos de capacitores e reatores (visa monitorar esses outros equipamentos, não especificamente da proteção);
 - f) verificar ajustes em relação ao previsto no banco de dados de ajustes.
- Caso o relé digital permaneça sem atuar para faltas no seu equipamento protegido durante mais de 4 anos, deverá ser feito teste que consiste nos itens abaixo.
 - a) com o relé em serviço e carga normal no equipamento primário: partir uma oscilografia, registrar as leituras na interface do relé e medições das grandezas analógicas indicadas no equipamentos citados no item (a), acima, como “fontes de dados esperados” e analisar comportamento de toda a parte analógica;
 - b) com base nos dados coletados verificar circuitos externos, como na análise de ocorrências: polarização do relé, RTC, RTP, circuitos de *trip* e fechamento e demais circuitos de controle e supervisão (verificação típica de testes de recepção e se destina a procurar por eventuais falhas de comissionamento);
 - c) fazer teste operativo, isto é, provocar *trip* no relé e observar a abertura do disjuntor, religamento automático (se as condições e ajustes assim indicarem): recolher registros de eventos do máximo de fontes de dados possível e analisar comportamento de entradas e saídas digitais. Caso alguma não tenha sido ativada pelas condições do teste, forçar ativação artificialmente;
 - d) verificar ajustes em relação ao previsto no banco de dados de ajustes.
- Ao ser detectada anormalidade em operação ou em análise de ocorrências deverão ser realizados testes de investigação e, se necessário, retirar o equipamento de operação, enviar ao fabricante para manutenção ou eventualmente substituição.
- Falhas de modo comum devem ser tratadas com problemas inerentes ao lote ou ao modelo, devendo ser tratadas em conjunto e de comum acordo com o fabricante.

A Engenharia de Manutenção deve dedicar especial atenção à vida útil de equipamentos digitais, identificando sinais de fadiga de lotes ou modelos, e sinalizando para a empresa a necessidade de substituição.

Outro aspecto importante da manutenção de relés digitais é o acesso remoto. Através dele é possível recuperar registros de oscilografias e eventos, realizar reajustes e monitorar a proteção, sem a necessidade do deslocamento de um especialista treinado ao local. Em toda instalação que for possível esse acesso ele deve ser disponibilizado para a Engenharia de Operação e Manutenção logo no comissionamento. Deve ser perquirido o objetivo de se ter acesso remoto a todos os IEDs da empresa de forma rápida e confiável.

6.0 – REGISTROS DE MANUTENÇÃO

A necessidade de se registrar cada ato de manutenção descrito acima se impõe devido tanto a aspectos de estudos de engenharia de manutenção quanto a institucionais, como um requisito da agência reguladora do setor elétrico brasileiro: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

O registro de manutenção começa com o registro de todos os equipamentos instalados na empresa, sua localização (instalação), o componente a que está vinculado (equipamento primário), suas características

principais (número de série, número de controle da operação e manutenção, modelo, versão, fabricante, softwares de controle), ajustes e parametrizações (incluindo seus arquivos) e de mais informações necessárias à atividade de manutenção.

A Cemig vem desempenhando um esforço para unificar as bases de dados de relés, o que resultou no Projeto *Phoenix*. Todo novo equipamento que entra em operação no sistema Cemig deve ser registrado neste sistema. Ele é um sistema espelho ao sistema *Applications and Products for Data Processing* (SAP/R3), módulo de manutenção (PM), utilizado na empresa para a gestão (planejamento, processamento e execução) dos serviços de manutenção, permitindo sua auditoria e atualização. Por ser um sistema desenhado para ser apoio e padronizador das atividades de operação e manutenção, especialmente de sistemas de proteção (não obstante abraçar a todos os equipamentos de subestação), deve ser priorizado e utilizado por todos os profissionais de manutenção da empresa. Suas funcionalidades permitem registro de ajustes e parametrizações dos relés digitais, seus arquivos e “link” com os documentos necessários à atividade de manutenção, armazenados no sistema de documentação da Cemig (Gedoc).

Os registros de manutenção, portanto, dependem do cadastro do modelo do equipamento no sistema *Phoenix*, sua descrição básica e montagem no ponto operativo. Essas tarefas são de responsabilidade das Engenharias de Operação e de Manutenção, sendo detalhadas em instruções de operação e manutenção específicas.

Para emissão inicial dos ajustes e parametrizações pela Engenharia de Operação é necessário que o equipamento já esteja descrito e cadastrado no sistema *Phoenix*. Da mesma forma, para possibilitar os registros de manutenção, é preciso que o equipamento conste na base de dados e esteja ajustado e parametrizado via PS. Isto possibilita enormes benefícios para a empresa, porém há necessidade do cumprimento de todas as etapas de registro do equipamento no banco de dados corporativo.

7.0 – CONCLUSÕES

A tecnologia de sistemas digitais representa uma revolução nas estruturas e filosofias de manutenção, operação, monitoramento, controle e supervisão das empresas. Sua não adequação representa prejuízos e aumento de risco de indisponibilidade e problemas de comissionamento e operação do sistema elétrico. Constitui-se um erro a simples adaptação de métodos e estruturas convencionais à manutenção de sistemas de proteção digitais.

A tecnologia digital apresenta vida útil reduzida em relação às demais, tanto do ponto de vista do equipamento quanto do ponto de vista das ferramentas, uma vez que novos *firmwares* e versões de software são constantemente emitidos pelos fabricantes. O mercado de sistemas digitais deve buscar uma maior estabilidade neste aspecto.

A substituição de componentes de equipamentos digitais torna-se cada vez mais difícil, uma vez que são compostos de placas dedicadas, fabricadas especialmente para o equipamento que compõem. Por outro lado, sua descontinuidade por parte dos fornecedores ocorre antes de seu fim de vida útil. Assim, para garantia de reposição em emergência da função, no caso de falha interna de equipamento digital, as concessionárias devem possuir estoque de peças-chave em reserva imobilizada.

Impõe-se aos especialistas de sistemas de proteção, controle e automação a constante atualização em relação aos equipamentos e ferramentas existentes. Os métodos apresentados tanto de comissionamento quanto de acompanhamento de desempenho dependem do domínio tecnológico por parte dos respectivos profissionais.

8.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CIGRÉ, WG 34. **Analysis and Guidelines For Numerical Protection Schemes** – Final Report, 2000.
- (2) EFAP-**Escola de Formação e Aperfeiçoamento Profissional da Cemig**, Medição de Ângulos – Apostila de Curso – Cemig.
- (3) ER/SE – Gerência de Engenharia de Subestações – Cemig, **Especificação Técnica de Relés de Proteção, 20000-ER/SE-6043** – Cemig, 2005.
- (4) GAUDINO, Gabriel Angel. **Curso de Manutenção de Sistemas de Distribuição**, CIER – Comisión de Integración Energética Regional, Módulo 1, 2004.
- (5) GOMES, J. L. O., Cruz, M. A., Rigotto Jr, G. J., **Banco de Dados Único para as Áreas de Operação e Manutenção: Uma Experiência Implantada na Cemig**, GMI 012, XVIII SNPTEE – Curitiba, 2005.
- (6) IEEE Power System Relaying Committee Report, Working Group I13. **Relay Performance Testing – Special Publication N^o 96 TP 115-0**, 1996.
- (7) IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, N^o 1. **Digital Simulator Performance Requirements For Relay Testing– Working Group F-8**, Chairman M. Kezunovic, 1998.

- (8) KUMM, J. J. , Weber, M. S., Schweitzer, E. O., Hou D. **Philosophies For Testing Protective Relays – Schweitzer Engineering Laboratories**, 1994.
- (9) KUMM, J. J., Schweitzer, E. O., Hou D., **Assessing The Effectiveness of Self-Tests and Other Monitoring Means in Protective Relays** – Schweitzer Engineering Laboratories, 1995.
- (10) PHADKE A. G., Horowitz S. H. **Power System Relaying – Research Studies Press**, 1992.
- (11) RIGOTTO Jr, G. J., Pereira Jr, I. H., Costa, A. L. M., Gomes, J. L. O., Oliveira, J. F., Cruz, M. A. **Sistema PHOENIX: Gestão da Manutenção e Operação de Equipamentos de Subestação**, ST-24; VIII STPC – Rio de Janeiro, 2005.
- (12) RIGOTTO Jr, G. J., Souza, W. M., Costa, A. L. M., Oliveira L. A., Ávila S. R. T., Silva L. C. **Novas Metodologias de Medição de Ângulos Utilizando Relés Digitais**, GPC 204, XVIII SNPTEE – Curitiba; 2005.

9.0 – DADOS BIOGRÁFICOS

Gilberto José Rigotto Júnior nasceu em Belo Horizonte, MG, Brasil, em 1963. É graduado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, é Especialista em Gestão Estratégica pela UFMG e Mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais, ambas em Belo Horizonte, MG, Brasil. Trabalha na Cemig desde 1982, onde atuou na área de Engenharia de Operação e Manutenção do Sistema Elétrico da Distribuição, Geração e Transmissão e atualmente trabalha na área de Planejamento de Operação da Geração e Transmissão, com foco na Proteção de Sistemas Elétricos..

João Luiz Oliveira Gomes nasceu em Nova Lima, MG, Brasil, em 1962. É graduado em Matemática pelo Centro Universitário Newton Paiva e Mestre em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, ambas em Belo Horizonte, MG, Brasil. Desde 1982, trabalha na Cemig na área de Engenharia de Manutenção de Sistemas de Proteção. Desde 1990, trabalha na elaboração da padronização dos métodos de manutenção para o sistema RME, na exploração de sua base de dados corporativa e na implantação e gerenciamento de *softwares* para a gestão da manutenção. Possui artigos publicados nas áreas de responsabilidade social, qualidade de vida e sistemas informatizados para a manutenção.