

MONITORAMENTO DA FUNÇÃO GERAÇÃO: APLICAÇÃO DE MODERNAS TÉCNICAS E INSTRUMENTOS EM PCHs E UHEs

AUTORES

MAURO PACHECO FERREIRA

FABRIZIO LEAL FREITAS

TIAGO KAORU MATSUO

TIAGO CÉSAR BUSATTA

AQX Instrumentação Eletrônica S.A.

Rua Lauro Linhares, 589 – sobreloja. Trindade - Florianópolis – SC, CEP 88036-001.

Telefones: (48)3333-2770/2107-2724, e-mail: engenharia@aqx.com.br

SARAH ELLEN GUY GUIMARÃES

MARCELO SANTOS GUIMARÃES

Serviços Especializados em Sistemas Elétricos de Potência Ltda. – COPPEX

Rua Gal. Dionísio Cerqueira, 238. Gutierrez – Belo Horizonte – MG, CEP 30430-140.

Telefones: (31)3337-0222/2526-6555, e-mail: coppex@coppex.com.br

AGUINALDO SILVEIRA E SILVA

ILDEMAR CASSANA DECKER

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Departamento de Engenharia Elétrica

Campus Universitário. Trindade - Florianópolis – SC, CEP 88040-970.

Telefones: (48)3721-9593/3721-9731, e-mail: aguinald@labspot.ufsc.br ou decker@labplan.ufsc.br

RESUMO

A proposta de monitoramento da função geração visa preencher uma lacuna atualmente não atendida pelos sistemas e equipamentos disponíveis no mercado, onde as informações registradas, oriundas das usinas de geração de energia elétrica, tipicamente não se apresentam agrupadas ou completas. Mesmo nos mais modernos sistemas de geração, onde um grande número de sinais mecânicos (níveis de vibração, velocidades de giro, temperaturas, etc.), elétricos (sinais provenientes dos sistemas de controle de regulação do gerador, corrente, tensão e potências de saída do gerador, etc.) e de estados (comandos, contatos, atuações de proteções, etc.) são monitorados, não existe uma "inteligência" centralizadora que reúna registros para uma visão completa dos sistemas e subsistemas da geração, aqui entendido como a função geração. Uma revisão bibliográfica permeia a evolução tecnológica da monitoração permanente de geradores desde o surgimento do assunto na literatura, a partir da década de 80, até na entrada do século XXI,

demonstrando um caminho de modificações e aperfeiçoamentos nos conceitos, objetivos e técnicas aplicadas. São apresentados casos de monitoramento permanente da função geração em usinas hidroelétricas, tanto em PCHs quanto em UHEs, abordando a metodologia, o contexto de P&D da aplicação em cada usina, o mapeamento de sinais e sensoriamentos em campo, a solução de equipamentos e registros de sinais em eventos selecionados. Para conclusão são apresentados os benefícios para uma melhor análise, estudo e identificação de problemas, e até para a atribuição de responsabilidades, tanto no âmbito específico de operação e manutenção das plantas de geração quanto no contexto amplo de gerenciamento do Sistema Interligado Nacional.

PALAVRAS-CHAVES: Aquisição de dados; Monitoramento de geradores; Função geração; Análise e diagnóstico de eventos; Sistemas geradores de energia elétrica.

ABSTRACT

The 'generation function' monitoring proposal seeks to fill a gap not currently served by system and equipment available in the Market, where the registered information, derived from power generation plants, typically are not grouped or complete. Even in most modern power generation systems, where a large number of mechanical signals (vibration level, rotation, temperatures, etc..), electrical (signals from control systems of the generator and current, voltage and power output of the generator, etc..) and states (command, contacts, action of protections, etc..) are monitored, there is not a centralized 'intelligence' that gather records for a complete overview of power generation's systems and subsystems, understood here as the 'generation function'. A bibliographic review permeates the technological change of power generators permanent monitoring since the rise of the subject in literature, from the 80's to the entrance of the XXI century, demonstrating a path changes and improvements in the concepts, objectives and applied techniques. Are presented cases of permanent monitoring of the generation function in hydroelectric facilities, both in small and large power plants, covering the methodology, the R&D context of application on each plant, the signals and sensor mapping and in the field, the equipment solution and signals records at selected events. To conclude are presented the benefits for a better analysis, study and identification of problems, and even for the attribution of responsibilities, both in the specific ambit of operation and maintenance of power plants as well as in the broader context of managing a wide interconnected power system.

KEY WORD: Data acquisition; Power generator monitoring; Generation function; Event analysis and diagnosis; Power generation systems.

1. INTRODUÇÃO

Nas abordagens do tema de monitoramento das unidades geradoras de energia elétrica são observadas diversas lacunas não atendidas pelos sistemas e equipamentos atualmente disponíveis. Dados e informações necessárias para a operação, manutenção e gestão das plantas geradoras ainda apresentam limitações quanto à coleta, armazenamento, disponibilização, análise, captura de conhecimento e criação de históricos. Tal situação representa restrições para o diagnóstico, solução de problemas, estudo e otimização dos processos de geração de energia.

A revisão da literatura confirma o amplo potencial da monitoração de geradores e demonstra os constantes esforços do setor para ampliação e aperfeiçoamento nas seguintes aplicações:

- Levantamento de parâmetros elétricos de máquinas síncronas em condições de operação, visando à modelagem do sistema para estudos de estabilidade (SUGIYAMA, 2008).
- Detecção de falhas com base na monitoração de variáveis mecânicas e elétricas do gerador (TWERDOCHLIB, 1988).
- Métodos *on-line* (HUANG, 1994) e *off-line* (TOUHAMI, 1994) para o levantamento de parâmetros de geradores síncronos com base em variáveis elétricas.
- Técnicas inteligentes para a monitoração condicional (manutenção baseada em condições) (MOYES, 1997), com métodos de diagnóstico por sistemas baseados em conhecimento, raciocínio baseado em modelos, raciocínio baseado em casos e redes neurais artificiais.
- Monitoração permanente de geradores com enfoque mecânico (OKADA, 1997).
- Diagnóstico de problemas em geradores com base em modelos de referência (YONGHUI, 1998) e através da medição de descargas parciais (STONE, 1998), com estudos mais aprofundados sobre a aplicação genérica de técnicas de monitoração condicional (GRIMMELIUS, 1999).
- Monitoração de amortecimentos do sistema elétrico nos modos de oscilações interáreas e análise da operação antes e depois de distúrbios (FERREIRA, 1997; FERREIRA, 1999).
- Manutenção condicional específica para a detecção de falhas no sistema de circulação de água (TAN, 2000) e de isolamento em enrolamentos (YU, 2000).
- Identificação *on-line* de parâmetros (NIAN, 2000) utilizando técnicas de inteligência artificial.

- Técnicas de diagnóstico através da monitoração de variáveis mecânicas e descargas parciais (LIN, 2001; MANGINA, 2001; STONE, 2002; BROWN, 2002), incluindo experiências em empresas brasileiras (FOGAÇA, 2003; SIMÃO, 2005).

Cabe destacar as publicações que apresentam o desenvolvimento de soluções de monitoração de geradores com tecnologia nacional. Sistemas desenvolvidos através de parcerias entre instituições de pesquisa com empresas estatais (SANZ, 2003; FILIPPIN, 2007), entre multinacionais privadas e instituições de pesquisa (POLL, 2005), entre empresas privadas e estatais (OURA, 2005) ou mesmo somente da iniciativa privada (BUSATTA, 2004; ZIMATH, 2005) comprovam a evolução dentro do Brasil. Um aspecto observado é que o desenvolvimento nacional se restringiu basicamente aos componentes de software, com poucas exceções apresentadas em publicações que englobam o desenvolvimento tanto de software quanto de hardware (FERREIRA, 1997; FERREIRA, 1999; BUSATTA, 2004; ZIMATH, 2005).

Dada a importância do tema, o Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE estabelece as melhores práticas para monitoração de geradores síncronos (IEEE, 1998) e mapeia os potenciais benefícios da utilização da monitoração permanente com sistemas de diagnóstico preditivo em usinas geradoras de energia elétrica (IEEE, 1999).

Sem a preocupação de estabelecer causas e efeitos ou mesmo possíveis interrelacionamentos, uma série de aspectos considerados relevantes no que tange as soluções para monitoramento de geradores de energia é apresentada (FREITAS, 2008):

- Na maioria das plantas de geração os sinais monitorados se encontram distribuídos entre vários sistemas (relés digitais, oscilógrafos, remotas, controladores programáveis, sistemas de controle, etc). Esta característica de heterogeneidade de soluções desacopladas prejudica a visualização das variáveis de uma forma concatenada e relacionada.

- Existem restrições quanto à disponibilização dos dados para as diferentes áreas de responsabilidade e competência do processo de geração de energia. Constata-se inclusive situações de redundância nos registros de informações, onde equipes ainda preferem analisar problemas com base em dados adquiridos *in loco*, utilizando instrumentos de aquisição de dados portáteis no campo. Suspeita-se da falta de conhecimento das informações já disponíveis ou da falta de detalhamento das mesmas.

- O monitoramento da unidade geradora de energia ainda é bastante incipiente. É notório o pensamento de que o alto custo dos equipamentos em relação ao benefício gerado inviabiliza

a sua aplicação. Entretanto, existem poucos estudos avaliando o tema com profundidade, tanto em pequenas quanto em grandes usinas geradoras de energia. A evolução tecnológica já reduziu o custo de soluções a patamares baixos o suficiente para contradizer esta percepção.

- Com aplicação mais disseminada nas plantas geradoras, os sistemas de oscilografia e supervisórios não atendem o registro de certas dinâmicas. O primeiro está focado em fenômenos associados principalmente à transmissão de energia (dinâmicas rápidas) e o segundo ao atendimento das necessidades de supervisão e comando das unidades geradoras (dinâmicas lentas). Observa-se a falta de registros detalhados de dinâmicas intermediárias, como por exemplo, as dinâmicas dos reguladores de tensão e velocidade, estabilizadores de sistemas de potência, entre outros. O monitoramento de um gerador implica em tempos de registros e taxas de aquisição distintas para cada variável de interesse.

Sob o histórico evolutivo e os aspectos restritivos identificados sobre a monitoração de unidades geradoras de energia elétrica, a abordagem aqui entendida como o **monitoramento da função geração** busca o estabelecimento de um mecanismo de "inteligência" centralizadora que reúne uma visão ampla dos sistemas e subsistemas da geração. Direciona o alcance de um grande número de sinais mecânicos (níveis de vibração, velocidades de giro, temperaturas, etc.), elétricos (sinais provenientes dos sistemas de controle de regulação do gerador, corrente, tensão e potências de saída do gerador, etc.) e de estados (comandos, contatos, atuações de proteções, etc.), monitorados permanentemente para disponibilização de dados e informações. Visa estabelecer uma plataforma base de monitoramento para a ampliação das perspectivas na área, tanto na continuidade da evolução de abordagens existentes quanto no estabelecimento de novas formas de apoio a operação, manutenção e gestão das plantas geradoras.

2. METODOLOGIA

O monitoramento da função geração pode ser estabelecido através de uma forma ordenada da concepção da solução, onde um conjunto de atividades fundamentais é identificado como uma boa prática para definição de um sistema de monitoração de geradores.

1) Definição das premissas de monitoração: Aqui são estabelecidos os objetivos a serem alcançados com a monitoração permanente da unidade geradora de energia. Tipicamente deve levar em consideração a experiência tácita das equipes de operação e manutenção das unidades geradoras, bem como as necessidades de informações estabelecidas pelos gestores

da planta. É importante a identificação das técnicas já aplicadas para diagnóstico de problemas, das práticas de monitoramento já estabelecidas, dos sistemas existentes e possibilidades de integração para a abordagem mais ampla, das diversas equipes de profissionais e suas distintas necessidades de dados e informações de campo.

2) Abstração do sistema gerador de energia: A atividade de abstração basicamente implica em identificar os macroelementos do sistema gerador e as variáveis principais a serem monitoradas. O objetivo é estabelecer a definição do sistema gerador a ser monitorado e os seus subsistemas, compondo a visão da função geração. A abstração sistema gerador é sugerida para um melhor entendimento do processo de monitoração da função geração e para o relacionamento dos sinais envolvidos a serem levantados em campo.

3) Concepção da solução arquitetural: A definição do sistema de monitoração segue uma arquitetura de sistema computacional flexível, tomada como referência para diversos níveis de aplicação. Permite o suporte para a implantação progressiva da abordagem, podendo contemplar desde os mecanismos mais simplificados de monitoração (abrangendo poucas variáveis) até os mais complexos (abrangendo muitas variáveis e subsistemas). O conceito principal da arquitetura computacional está na utilização de equipamentos de aquisição de dados capazes de expandir, através de módulos, a quantidade de canais para o monitoramento dos sinais na planta geradora. Outro aspecto importante é a disponibilização de dados através de redes de comunicação, tanto entre as unidades de comunicação e processamento quanto entre as unidades de aquisições de sinais. Esta característica facilita o processo de instalação em campo evitando longos cabeamentos de sinais, agilizando o tempo de instalação e reduzindo os custos associados. A integração do sistema de monitoração, tanto fornecendo dados para outros sistemas quanto recebendo dados de sistemas já existentes também é privilegiada na concepção da arquitetura computacional. Interfaces RS-485 e Ethernet, implementando protocolos Modbus *master* e *slave*, são facilidades que podem implicar em uma redução de custos significativa na etapa de sensoriamento da planta geradora, permitindo o aproveitamento de sistemas já instalados. Unidades de análise remota, local e concentradores de informações são definidas para execução dos aplicativos de software de alto nível. Também é importante a flexibilidade de instalação e interoperação dos componentes de software, que podem ser implantados em uma única unidade de processamento ou em várias unidades distribuídas em rede.

4) Detalhamento dos sinais na planta: Esta atividade exige levantamento de campo, observando os requisitos estabelecidos para o sistema de monitoramento e a adequação da

solução arquitetural na planta geradora. Implica em verificar os sensores e sistemas existentes, os espaços físicos para a instalação de equipamentos, as redes de comunicação existentes e as possibilidades de conexão as mesmas, as distâncias de cabeamentos, etc. Uma tabela detalhando cada sinal de campo é sugerida para preenchimento, abrangendo informações importantes para a correta definição dos equipamentos componentes do sistema de monitoração do gerador, sendo no mínimo: A definição da grandeza monitorada e sua descrição; Os objetivos de monitoração; A faixa de amplitudes e frequências das grandezas; A descrição dos sensores e o local de instalação; A faixa da medida elétrica sobre os sensores; e Observações pertinentes identificadas em campo.

5) Definição do sistema de monitoramento da função geração: Com base nos resultados estabelecidos nas atividades anteriores é possível conduzir a especificação detalhada de cada componente, envolvendo os conjuntos de sensores a serem aplicados, todas interfaces entre sensores e sistemas existentes, os equipamentos de aquisição de dados e os respectivos números de canais analógicos/digitais e níveis de tensões e correntes de entrada, os componentes de rede e comunicação, os componentes de software e suas funcionalidades, os bancos de dados para armazenamento, e, por fim, todos os serviços de apoio necessários para a implantação do sistema.

3. RESULTADOS

Alguns casos de aplicação são apresentados para ilustrar o caminho de consolidação da proposta de monitoramento permanente da função geração em usinas hidroelétricas, tanto em PCHs quanto em UHEs. Retratam esforços de pesquisa e desenvolvimento no âmbito de concessionárias de energia comprometidas com a evolução tecnológica da área e busca de posição de vanguarda na operação, manutenção e gestão de unidades geradoras de energia.

Um aspecto comum entre os casos apresentados é a concepção arquitetural, onde os componentes do sistema de monitoração seguem o modelo apresentado na FIGURA 1. Em casos específicos é modificada a alocação de alguns componentes, porém normalmente não implica em perdas quanto às características funcionais.

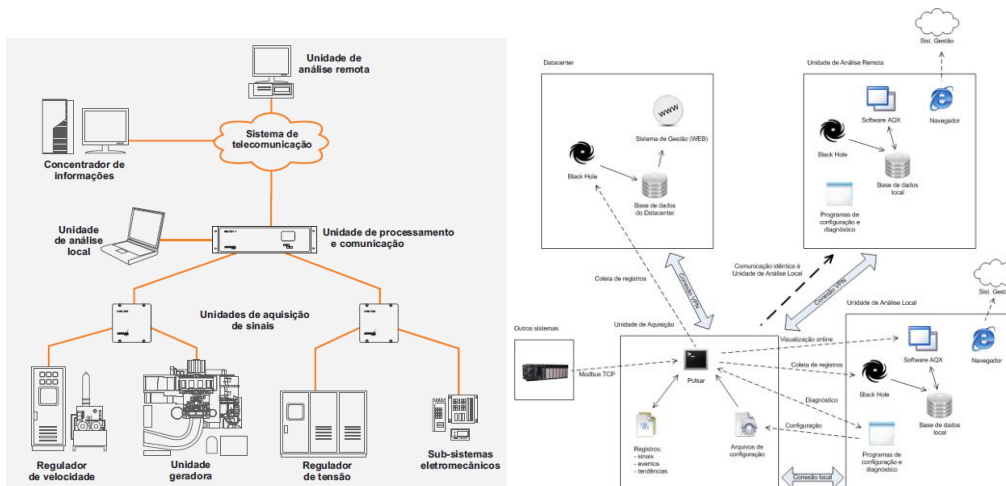


FIGURA 1 – ARQUITETURA

Este artigo não tem o propósito de detalhar as características arquiteturais e funcionais da parte computacional para o monitoramento da função geração. As informações apresentadas objetivam apenas uma orientação para percepção das soluções aplicadas nos casos expostos a seguir.

3.1. Caso na CELESC

Como exemplo de uma solução própria, de alto índice de nacionalização, o desenvolvimento do “RD-CELESC - Registrador Digital Aplicado ao Monitoramento de Unidades Geradoras de Energia” foi desenvolvido em um projeto de pesquisa e desenvolvimento do Programa CELESC de P&D - Ciclo 2004-2005 da ANEEL. A aplicação foi na PCH Garcia I que possui duas unidades geradoras de 6MVA cada, dotados de turbinas horizontais tipo Francis.

Os geradores da usina apresentavam situações de falta de origem desconhecida. Em determinadas situações os sistemas de proteção existentes não tinham atuação contra a falta estabelecida, levando a máquina a perder sincronismo com a rede, sendo necessária sua desconexão. Apesar da PCH dispor de sistemas supervisório e de automação instalados durante sua recente modernização, não haviam registros detalhados o suficiente para a identificação das faltas e perturbações, principalmente nas situações de problemas intermitentes.

A definição do monitoramento permanente das duas unidades geradoras foi estabelecida, seguindo a lista de sinais apresentada no QUADRO 1, contemplando 18 sinais analógicos e 10 digitais, definidos basicamente pela facilidade de acesso e de instalação de sensores, evitando modificações mais complexas na planta.

QUADRO 1 – LISTA DE SINAIS

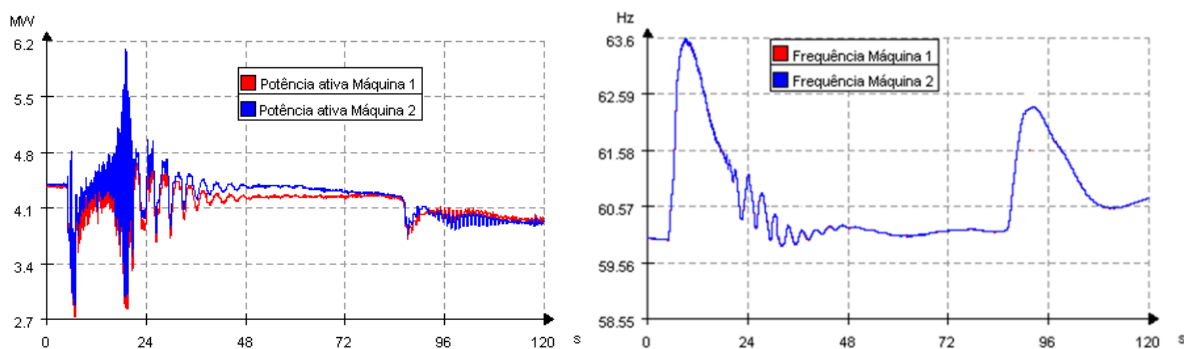
Abstração	Sinal
Gerador	Tensões e correntes estatóricas, tensão e corrente de excitação, potências ativa e reativa, fator de potência, frequência e estado do disjuntor de campo.
Eixo	Deslocamentos radiais de eixo (mancal intermediário, lado gerador, lado turbina e axial)
Proteção	Estado das atuações das proteções (relés 50/51, 51N, 59, 64E, 63, 87, 67N, 86E e 86M)

O modelo segue a arquitetura de referência, com uma unidade de monitoração para cada máquina, concentrador de informações para armazenamento dos dados registrados e unidade de análise, todos conectados na rede corporativa da CELESC. Destaca-se a duplicação da unidade de análise em dois centros distintos, um associado ao agente de geração e outro associado a um centro de pesquisa e desenvolvimento. Esta interação visa uma melhoria na capacidade de análise e diagnóstico dos registros de campo através de uma parceria empresa-centro de pesquisa.

A monitoração permanente das unidades geradoras resultou em uma abordagem útil para a identificação de diversos problemas na planta e verificação de pontos onde é possível a realização de melhorias visando melhor desempenho e conservação dos geradores – resultados de impacto na disponibilidade e redução de custo da geração (FREITAS, 2008).

Um registro bastante interessante estabelecido por este sistema de monitoramento permanente implantado abrange mais que o escopo da PCH. Trata-se do evento ocorrido no Sistema Interligado Nacional no dia 10 de novembro de 2009, que acarretou em falta de energia em grande parte do Sudeste. Segundo registro do Informativo Preliminar Diário da Operação – IPDO, do dia 10/11/09, às 22h13min ocorreu perturbação geral no SIN, envolvendo diretamente a região Sudeste/Centro-Oeste desencadeando desligamentos automáticos.

A variação da potência elétrica (FIGURA 2) desencadeou o registro em ambas as unidades de monitoramento. A variação da frequência durante o evento também foi registrada.

**FIGURA 2 – REGISTROS EM 10/11/09**

A análise detalhada do pico de frequência provocado pelo evento permitiu a identificação da componente de frequência resultante da operação assíncrona dos sistemas Sul – Sudeste

(diferença de frequências entre os sistemas), fracamente interligados no período do evento, conforme apresentado na FIGURA 3.

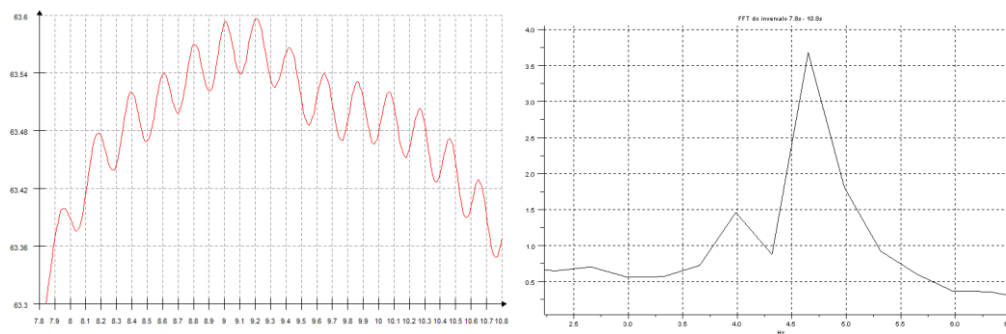


FIGURA 3 – DETALHE DE REGISTROS EM 10/11/09

Por fim uma comparação de registros pode ser estabelecida, tomando como referência os registros realizados pelo sistema MedFasee, projeto desenvolvido pelo Laboratório de Planejamento - Labplan do Departamento de Engenharia Elétrica - EEL da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, apresentado na FIGURA 4.

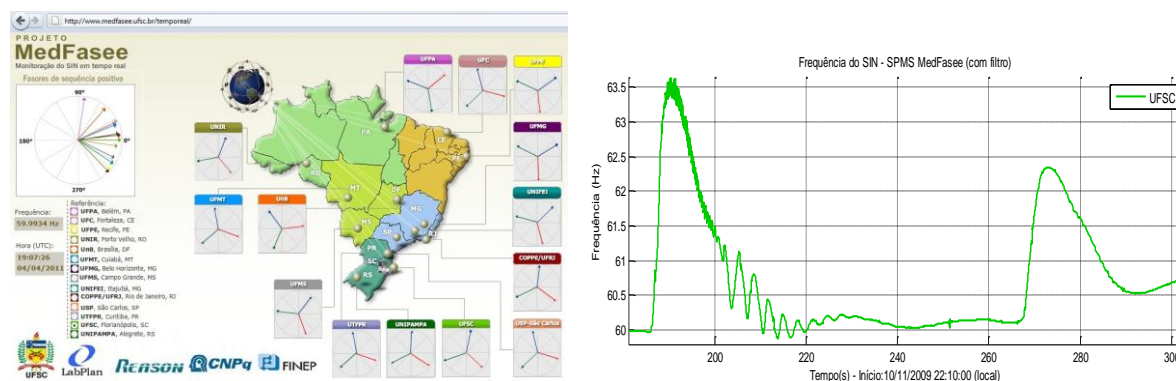


FIGURA 4 – REGISTROS do MEDFASEE EM 10/11/09

O MedFasee monitora permanentemente o sistema elétrico brasileiro através de medições em baixa tensão com instalações em 14 universidades brasileiras. Implementa o monitoramento baseado em medições fasoriais, método distinto do aplicado na PCH Garcia I. A similaridade entre os registros realizados estabelecem um mecanismo de validação dos registros para maior confiabilidade.

3.2. Caso na CESP

Outro exemplo, atualmente ainda em implantação, é o projeto “Monitoração e Diagnóstico Auxiliado por Computador de Defeitos de Unidades Geradoras” desenvolvido no contexto do Programa CESP de P&D, Ciclo 2006-2007 da ANEEL. A aplicação é na UHE Ilha Solteira, em uma unidade geradora de 170MVA acoplada a uma turbina tipo Francis.

A abordagem contempla o desenvolvimento de um sistema de diagnóstico que deverá abordar aspectos de manutenção preditiva com indicação de pontos e tempos em que devem ser realizadas manutenções preditivas a fim de minimizar riscos e problemas de operação.

As premissas de monitoração estabelecidas estão associadas ao monitoramento: Do nível de carregamento da unidade geradora; Das vibrações; De trincas em pré-distribuidores; De radiadores do gerador; De temperaturas de mancais agregando informações de sistemas de injeção de óleo; De tempos de intermitência e estado operativo de bombas de óleo; Das partidas e paradas de UGs; e Do modelo de referência do regulador de velocidade.

A abstração da função geração estabelecida é apresentada na FIGURA 5 e a lista de sinais monitorados definido é apresentada no QUADRO 2.

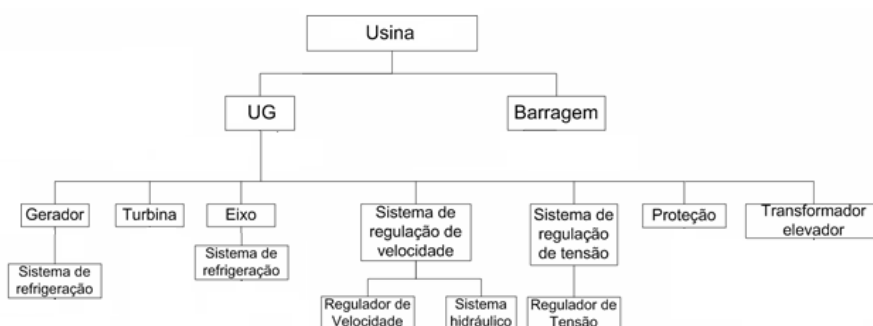


FIGURA 5 – ABSTRAÇÃO DO SISTEMA GERADOR

QUADRO 2 – LISTA DE SINAIS MONITORADOS

Abstração	Sinal
Barragem	Níveis montante e jusante
UG	Temperatura e umidade ambiente, comando de partida e de parada e estado do disjuntor de grupo
Gerador	Tensões e correntes estatóricas, tensão e corrente de excitação, vibração do pacote estatórico, temperaturas dos enrolamentos e núcleo do estator e rotor, potências ativa e reativa, fator de potência, frequência e umidade sala amarela
Gerador - Sistema de resfriamento	Vazão da água do sistema, temperaturas da água de resfriamento na entrada e saída do sistema e temperaturas do ar de resfriamento dos radiadores (ar frio e quente)
Eixo	Deslocamentos radiais de eixo (Mancais guia inferior e superior), vibração dos mancais combinado e inferior e fluxo de água do sistema de resfriamento do anel de vedação
Eixo -Sistema de resfriamento	Temperatura dos patins dos mancais guia superior e inferior e mancal de escora, pressão e temperatura do sistema de injeção de óleo, temperaturas das águas de resfriamento, pressões do acumulador, das bombas e do compressor e nível do óleo no acumulador
Turbina	Rotação, vibração das pás do pré-distribuidor e nível de água na tampa da turbina
Sistema de reg. de velocidade - RV	Sinais de referencia e controle e falha leve e grave do regulador
Sistema de reg. de veloc. – Sist. Hidráulico	Posição do distribuidor, posições da válvula distribuidora e proporcional, temperaturas da cuba do RV e da água de resfriamento e estado das bombas de recalque e resfriamento
Regulador de tensão	Sinais de referencia e controle, comando de excitação e desexcitação, estado do disjuntor de campo, atuação dos limitadores de máxima e mínima tensão de excitação e trip de sobre corrente de excitação
Proteção	Estado dos relés 86-1, 86-2, 86-3, 86-4, 86-5 e D26

O sistema aplicado é composto por um equipamento de aquisição de dados que coleta grandezas do gerador por meio de sensores apropriados e de outros sistemas existentes (através de protocolos de comunicação padronizados). Através de rede ethernet, a unidade de aquisição disponibiliza os dados a uma unidade concentradora, também instalada na planta.

Através da rede corporativa da empresa são conectadas unidades de análise para acesso local e remoto dos dados do sistema inclusive em ambiente de publicação WEB.

Apesar do sistema proposto ainda não estar instalado e operacional, o caso da CESP ilustra bem a aplicação do conceito de monitoramento da função geração. São cerca de 140 variáveis do processo de geração monitoradas, todas concentradas em um único sistema capaz de estabelecer dados e informações para as distintas áreas, tanto técnicas como gerenciais. Também abrange a perspectiva do diagnóstico e da futura ampliação da aplicação com a maturidade do uso do sistema.

3.3. Caso na CEMIG

Também ainda em implantação, o projeto “GT335 - Sistema de Registro de Informações Gerenciais para PCHs” é apresentado no contexto do Programa de P&D regulado pela ANEEL, Convênio de Cooperação Técnico-Científica do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento CEMIG-GT, ano de 2010. A aplicação é em duas PCHs da CEMIG, PCH Gafanhoto, com 4 unidades geradoras de 3,25 MVA com turbinas verticais tipo Francis e PCH Pai Joaquim, com uma unidade geradora de 24,2MVA com turbina vertical tipo Kaplan.

O sistema de informação deverá contemplar aspectos gerenciais da operação das PCHs no atendimento a demanda com base em registros de campo das unidades geradoras em operação (sistema de informações gerenciais, em ambiente WEB, alocado em um datacenter).

Um aspecto relevante deste desenvolvimento é a abstração da unidade geradora, cujo formato, apesar de simplificado representa um amplo conjunto de variáveis para monitoramento permanente da função geração, conforme apresentado na FIGURA 6.

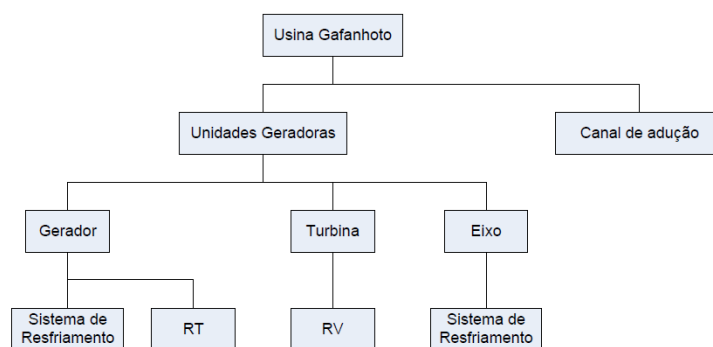


FIGURA 6 – ABSTRAÇÃO DA UNIDADE GERADORA

A lista de sinais definida para monitoramento é apresentada no QUADRO 3, que retrata o levantamento de campo. Contempla 47 sinais analógicos e 19 sinais digitais.

QUADRO 3 – LISTA DE SINAIS MONITORADOS

Abstração	Sinal
Canal de adução	Nível montante e jusante, Vazão e Perda de pressão na grade de tomada d'água.
UG	Temperatura ambiente (casa de força e fora), comando de partida e estado do disjuntor de grupo e neutro.
Gerador	Tensões e correntes estatísticas, tensão e corrente de excitação, temperaturas dos enrolamentos e núcleo do estator e rotor e vibração da carcaça
Gerador - Sistema de resfriamento	Temperaturas da água de resfriamento na entrada e saída do sistema e temperaturas do ar de resfriamento dos radiadores (ar frio e quente)
Eixo	Deslocamentos radiais de eixo (mancais da turbina guia inferior e guia superior) e vibração dos mancais (turbina, intermediário e superior)
Eixo - Sistema de resfriamento	Temperatura dos mancais guia superior e inferior e mancal de escora e temperatura do óleo de resfriamento dos mancais MC MGI e MGT
Turbina	Rotação, pressão na caixa espiral e no tubo de sucção e vibração da tampa da turbina e no tubo de sucção
Sist. de reg. de veloc. - RV	Comandos de aumentar/diminuir carga.
Sistema de reg. de veloc. - Sistema hidráulico	Estado da válvula borboleta, posição do distribuidor e posição do limitador de abertura
Regulador de tensão	Estado do disjuntor de campo e comandos do RT (aumentar/diminuir tensão, com atuação rápida ou lenta)
Proteção	Estado dos relés: sobrevelocidade, bloqueio 86, diferencial 87, sobretensão 59, sobrecorrente 51 e estado do sistema de frenagem

O sistema proposto é composto por unidades de monitoração localmente instaladas junto aos geradores das PCHs, unidades de análise remota instalados na sede das entidades parceiras do projeto, unidades de análise local para cada PCH envolvida e um datacenter na internet. A conexão entre os elementos do sistema é da rede corporativa da CEMIG.

O caso da CEMIG também ilustra a aplicação do conceito de monitoramento da função geração. A abordagem sobre as PCHs demonstra preocupações equivalentes às observadas nas UHEs, onde os valores associados aos geradores de grande porte facilitam os cálculos de viabilidade dos sistemas de monitoramento. O aspecto gerencial da proposta implica em uma nova dimensão para a solução, envolvendo, além da monitoração permanente das unidades geradoras no contexto técnico, a compilação de indicadores de desempenho para o objetivo da gestão e otimização dos ativos de geração. Também abrange a perspectiva da continuidade de desenvolvimento e da futura ampliação da aplicação com a maturidade do uso do sistema.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A monitoração permanente da função geração pode contribuir de forma significativa para a melhoria da operação, manutenção e gestão dos sistemas geradores de energia elétrica, porém ainda é tema que demanda uma ampla discussão dos métodos e soluções empregadas.

Os casos de aplicação apresentados retratam esforços de P&D neste sentido, onde a metodologia apresentada foi aplicada conforme as características de cada projeto. A prática na implantação de sistemas em condições reais conduz a um caminho iterativo e incremental, onde é necessária a revisão e adaptação da solução perante as dificuldades encontradas em

campo. Isto é particularmente relevante nas atividades de sensoriamento e de integração com sistemas já existentes na planta.

Também a amplitude do conceito da monitoração da função geração é afetada pelas restrições de custos, tanto para o sensoriamento das unidades geradoras quanto para a definição da quantidade de canais disponíveis nos equipamentos de aquisição de dados, itens que representam a maior fatia de custos neste tipo de aplicação. É evidente que estudos de viabilidade econômica ainda precisam se tornar um alvo entre as principais preocupações.

Observa-se também alguns benefícios de difícil mensuração de valor, porém claramente identificados nos casos de aplicação apresentados:

- O registro de informações detalhadas das dinâmicas e estados da geração permite uma melhor interface entre os agentes geradores e os fabricantes de equipamentos, entre os diferentes sistemas interligados sobre diferentes responsabilidades – interface entre as empresas do setor, e entre as próprias equipes de operação e manutenção.

- A ocorrência apresentada, em que houve a oportunidade de estabelecer o cruzamento de informações registradas em diferentes sistemas, mostrou uma efetiva complementaridade das formas e escopos de monitoramento (local e sistêmico). Também permitiu a observação de determinadas características de forma redundante dos fenômenos registrados, assegurando a confiança do diagnóstico.

- A precisa identificação da origem e da repercussão das ocorrências permitem uma rápida e justa atribuição de responsabilidades aos agentes e concessionárias de energia elétrica.

Diante deste cenário de benefícios, acredita-se que o caminho evolutivo do monitoramento da função geração implica em esforços para reunir entidades e papéis fundamentais do desenvolvimento tecnológico. Centros de excelência de pesquisa, Empresas de Base Tecnológica (EBT) e agentes geradores de energia devem trabalhar pra realizar a construção de modelos de P&D sustentáveis e de resultado para o mercado. Esse esforço é visto como um caminho curto para a evolução e ampliação da abordagem.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos que contribuíram na execução dos trabalhos relatados neste artigo, com atenção especial: À CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina e ao gerente do projeto Eng. Ilson Martins Ribeiro (*in memoriam*); À CESP – Companhia Energética de São Paulo e ao gerente do projeto Eng. Rodrigo Sanomya; À CEMIG-GT – Companhia

Energética de Minas Gerais e ao gerente do projeto Eng. Pedro Alberto Castello Branco; À ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; Às empresas parceiras REIVAX S.A. Automação e Controle e REASON Tecnologia S.A.; Aos parceiros de pesquisa do EEL/UFSC, laboratórios LABPLAN e LABSPOT; e Às equipes da COPPEX e AQX.

6. REFERÊNCIAS

- [1] FREITAS, F. L. et al, 2008. *Monitoração Permanente de Geradores: Abordagem para o Diagnóstico Preditivo*. Seminário do Estado da Arte em Sistemas de Monitoramento Aplicados a Máquinas Rotativas, Cigrè/Eletronorte (Brasil, Brasília).
- [2] SUGIYAMA, T. et al, 2008. *Measurements of Synchronous Machine Parameters Under Operating Condition*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Volume PAS-101, 4a Edição (EUA, Portland).
- [3] TWERDOCHLIB, M. et al, 1988. *Two recent developments in monitors for large turbine generators*. IEEE Transaction on Energy Conversion. (EUA, São Francisco).
- [4] IEEE, 1998. *Recommended Practice for Monitoring and Instrumentation of Turbine Generators*. Institute of Electrical and Eletronics Engineers, (EUA, Nova York).
- [5] HUANG, C. T. et al, 1994. *On-line measurement-based model parameter estimation for synchronous generators: model development and identification schemes*. IEEE Transaction on Energy Conversion. Volume 9, 2a Edição (Canadá, Vancouver).
- [6] TOUHAMI, O. et al, 1994. *Synchronous Machine Parameter Identification by a Multitime Scale Technique*. IEEE Transactions on Industry Applications. Volume 30, 6a Edição (EUA, Houston).
- [7] MOYES, A. et al, 1997. *The use of intelligent systems techniques in condition monitoring of electrical plant*. IEE Colloquium on Condition Monitoring of Large Machines and Power Transformers, Digest No: 1997/086 (Reino Unido, Londres).
- [8] OKADA, A. C. T. et al, 1997. *Experiência da CESP no monitoramento de vibração*. XIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (Brasil, Belém).
- [9] YONGHUI X., 1998. *Implementation of an observer-based fault detection scheme on a lab-scale power system*. IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Volume 2 (Canadá, London).
- [10] STONE, G. et al, 1998. *Stator winding monitoring*. IEEE Industry Applications Magazine. Volume 4, 5a Edição (Canadá, Toronto).
- [11] GRIMMELIUS, H. T. et al, 1999. *Three state-of-the-art methods for condition monitoring*. IEEE Transactions on Industrial Electronics (EUA, Auburn).
- [12] IEEE, 1999. *Guide for Applications of Plant Monitoring for Hydroelectric Facilities – Potential cost benefits of Plant Condition Monitoring (PCM)*. Institute of Electrical and Eletronics Engineers, IEEE draft standard P1438/D1.5 (EUA, Nova York).
- [13] FERREIRA, M. P. et al, 1997. *Um sistema de monitoração de oscilações: Aplicação no sistema argentino*. XIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (Brasil, Belém).

- [14] FERREIRA, M. P. et al, 1999. *Sistema de monitoração de distúrbios e da dinâmica de sistemas elétricos de potência*. XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (Brasil, Belém).
- [15] TAN, C. T. et al, 2000; *Condition monitoring and fault prediction via an adaptive neural network*. TENCON 2000, Proceedings, Volume 1 (Malásia, Kuala Lumpur).
- [16] YU, X. Z. et al, 2000. *Condition monitoring of a power station*. Power International Conference on System Technology, Proceedings, PowerCon 2000 (Austrália, Perth).
- [17] NIAN, L. et al, 2000. *The new intelligent monitoring method for operating states of large generator units*. Power Engineering Society Winter Meeting, 2000 (Singapura).
- [18] LIN, D. et al, 2001. *Digital measurement system for generator on-line PD monitoring system*. Proceedings of the Fifth International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS (China, Shenyang).
- [19] MANGINA, E. E. et al, 2001. *The use of a multi-agent paradigm in electrical plant condition monitoring*. Large Engineering Systems Conference on Power Engineering, LESCOPE '01 (Canadá, halifax).
- [20] STONE, G. C., 2002. *Advancements during the past quarter century in on-line monitoring of motor and generator winding insulation*. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Volume 9, 5a Edição.
- [21] BROWN, A., 2002. *Condition monitoring of HV rotating plant - a strategy for the Asset Manager*. Fifth International Conference on Power System Management and Control (Reino Unido, Londres).
- [22] FOGAÇA, A. J. N., 2003. *Manutenção preditiva – a influência de sua implantação na manutenção de geradores*. XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (Brasil, Uberlândia).
- [23] SIMÃO Filho, J. et al, 2005. *Descargas parciais em geradores – a experiência em Itaipu*. XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (Brasil, Curitiba).
- [24] SANZ, J. et al, 2003. *A monitoração e o diagnóstico de Hidrogeradores: projeto MONITHIDRO*. XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (Brasil, Uberlândia).
- [25] FILIPPIN, C. G. et al, 2007. *Sistemas de monitoramento robusto com integração operação x manutenção*. XIX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (Brasil, Rio de Janeiro)
- [26] POLL, H. G. ET AL, 2005. *Diagnóstico dinâmico de máquinas Francis*. XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (Brasil, Curitiba).
- [27] OURA, J. M. et al, 2005. *Monitoramento remoto de temperatura da unidade geradora da UHE Ilha Solteira*. XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (Brasil, Curitiba).
- [28] BUSSATA, T. C. et al, 2004. *Project of a Fault Recorder System with Database Storage Integrated Through TCP/IP Network*. VI INDUSCON Conferência Internacional de Aplicações Industriais (Brasil, Joinville).
- [29] ZIMATH, S. L. et al, 2005. *Monitoração de eventos com registro de longa duração – configuração e aplicação*. VIII Seminário Técnico de Proteção e Controle (Brasil, Rio de Janeiro).