



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

BR/GPC/04  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO -V**

**GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC**

**SISTEMA DE MEDIÇÃO FASORIAL SINCRONIZADA DA CEMIG – SISMEF**

**S. R. C. de Andrade\***

**M. H. M. Vale\*\*  
G. Campos\*\*\***

**F. S. Chaves\*\***

\* **CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais**  
\*\* **UFMG/LRC – Universidade Federal de Minas Gerais**  
\*\*\* **CONCERT Technologies S/A**

**RESUMO**

Este trabalho apresenta o **SISMEF**, Sistema de Medição Fasorial Sincronizada (SMFS) implementado no sistema elétrico da CEMIG. A estrutura do sistema fasorial é descrita, incluindo seus componentes, bem como a IHM (Interface Homem-Máquina) amigável especialmente projetada, nos níveis de administrador e de usuário, para que as equipes o utilizem nas atividades práticas da empresa.

O SISMEF conta com aplicação para visualização dos sincrofasores, permitindo a monitoração do comportamento das grandezas fasoriais por meio das telas da IHM. Destacam-se as aplicações voltadas para a Previsão do Risco de Instabilidade de Tensão, em tempo real, e o Restabelecimento do Sistema Elétrico.

**PALAVRAS-CHAVE**

Sistema de medição fasorial sincronizada, concentrador de dados, unidade de medição fasorial, previsão de instabilidade de tensão, restabelecimento de sistemas elétricos.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O **SISMEF**, sistema de medição fasorial apresentado neste artigo, se insere em um projeto cooperativo entre a CEMIG, a UFMG/LRC (Universidade Federal de Minas Gerais / *Lightning Research Center*) e a empresa CONCERT Technologies. Em publicações anteriores (1)(2)(3)(4)(5), este sistema foi tratado em termos de seus desenvolvimentos intermediários, sendo aqui apresentado de forma completa, já em seu estágio de aplicação final.

A estrutura básica do SISMEF é mostrada por meio da integração dos seus componentes: Concentrador de Dados Fasoriais (**PDC** - *Phasor Data Concentrator*) e Unidades de Medição Fasorial (**PMU** - *Phasor Measurement Units*). Considerações sobre sua implementação são discutidas e especial destaque é dado ao detalhamento da IHM (Interface Homem-Máquina) amigável, a partir da qual são mostradas as aplicações do sistema.

O ambiente computacional do SISMEF, por meio de telas desenvolvidas para os níveis de administrador e de usuário final, conta com aplicação para visualização dos sincrofasores, permitindo a monitoração do comportamento das grandezas fasoriais em tempo real. A interface inclui telas específicas das aplicações implementadas, voltadas para a *Previsão de Instabilidade de Tensão* e o *Restabelecimento do Sistema Elétrico*.

O sistema fasorial está preparado para transmitir dados para o concentrador de dados do ONS (Operador Nacional do Sistema), de forma a atender também às especificações do SMFS nacional. Além disso, está prevista sua integração ao Centro de Operação da CEMIG.

Merece destaque o envolvimento das equipes de operação em tempo real, planejamento da operação, proteção e de manutenção no desenvolvimento do sistema fasorial. Os resultados da sua utilização prática nas diversas áreas garantem benefícios para a empresa, para os consumidores e, também, para o sistema nacional, tendo em vista a integração com o PDC do ONS. Tais benefícios se relacionam ao aumento da qualidade de energia, ao melhor aproveitamento de ativos já instalados no sistema da empresa, à avaliação do desempenho de esquemas de controle e de proteções sistêmicas, dentre outras.

Com a apresentação do SISMEF, este artigo espera contribuir para incentivar o desenvolvimento de novos sistemas de medição fasorial, mostrando a experiência adquirida pela equipe na concepção, construção e aplicação do sistema da empresa.

## 2.0 - ESTRUTURA BÁSICA DO SISMEF

A figura 1 ilustra a arquitetura básica do SISMEF, onde é mostrada a integração dos seus componentes.

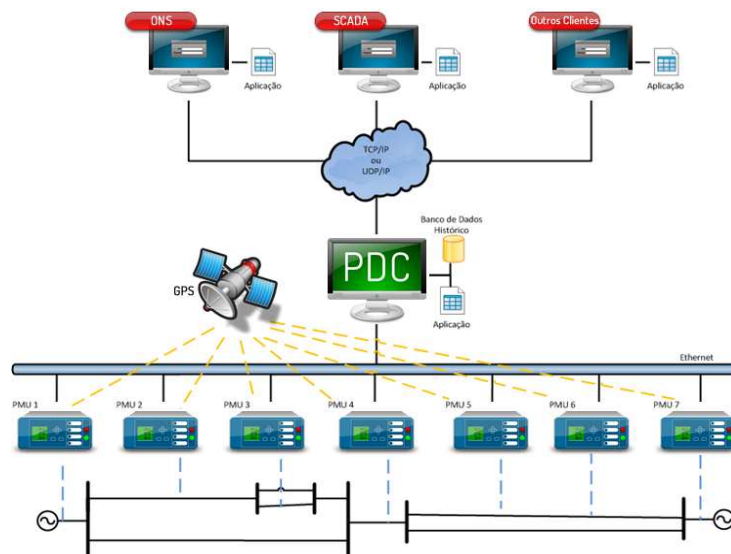


FIGURA 1 - Arquitetura Básica do SISMEF.

No projeto SISMEF, foram adquiridas 7 PMUs previstas para atender às necessidades do Sistema Interligado Nacional, a serem instaladas em subestações que participam do SMFS Brasileiro. Atualmente, o SISMEF recebe dados fasoriais provenientes de dispositivos de proteção já existentes, resultando na potencialização dos ativos da empresa. A localização estratégica destes dispositivos permite o monitoramento da dinâmica do sistema, favorecendo ações preventivas e corretivas mais adequadas. No projeto foi adotado o protocolo de comunicação UDP/IP e a taxa máxima de transmissão de 60 fasores por segundo.

O sistema é composto por um concentrador customizado de dados fasoriais (PDC) desenvolvido a partir da plataforma OpenPDC, implementada em ambiente Windows com C# e Java, e disponibilizada pela TVA (*Tennessee Valley Authority* - EUA) (6). O PDC foi preparado para transmitir os dados fasoriais coletados no sistema elétrico da Cemig para o concentrador de dados do ONS e está projetado para ser integrado ao SSCD (Sistema de Supervisão e Controle Distribuído) do COS (Centro de Operação do Sistema) da CEMIG.

O SISMEF possui bancos de dados para aplicações de tempo real e para estudos e análises baseadas em dados históricos. As aplicações de engenharia podem estar localizadas no próprio aplicativo do PDC, bem como em um dos seus clientes. Ressalta-se, mais uma vez, que a estrutura do SISMEF, da forma como foi projetada, permite a integração dos sistemas de supervisão, controle, monitoramento e proteção, trazendo avanços significativos para os diversos processos da empresa.

## 3.0 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DO SISMEF

O SISMEF foi implementado por meio de atividades multidisciplinares desenvolvidas pelos parceiros: a UFMG atuou na pesquisa e no desenvolvimento das aplicações (avaliação do risco de instabilidade e restabelecimento); a

Concert ficou responsável pela implementação do sistema fasorial, em especial o PDC, e sua implantação no sistema elétrico; a CEMIG, por meio de equipe composta por membros de diversos departamentos envolvidos na implantação do sistema fasorial, gerenciou todo o projeto.

O sucesso do projeto se deve a diversos fatores e, dentre eles, destacam-se algumas iniciativas: participação da equipe em visitas técnicas, inclusive no exterior (*Tennessee Valley Authority*); Organização de evento internacional, o *Workshop Synchronized Phasor Measurement Systems* (7), que contou com a presença de participantes de vários países; realização de cursos de interesse, destacando-se o curso Aplicação dos Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada nos Processos de Operação, ministrado pela equipe da UFMG/LRC.

Dentre as questões consideradas de relevância pela equipe do P&D, destacaram-se: segurança das informações; definição de um SMFS de longo prazo; definição de aplicações do SMFS; requerimentos de projeto para futuras migrações (para evitar obsolescência); requerimentos de desempenho e validações; localização das PMUs; entrada de tempo de sincronização para as PMUs; conexões das PMUs no sistema elétrico; requerimentos para testes, comissionamento e atualizações do sistema; interfaces de comunicação; arquivamento e aquisição de dados, incluindo período de latência; integração aos sistemas de supervisão, controle e monitoração já existente na empresa.

#### 4.0 - INTERFACE HOMEM-MÁQUINA E APLICAÇÕES DO SISMEF

A interface do SISMEF foi projetada para os níveis de administrador e de usuário final, sempre atendendo às especificações da empresa. A partir da tela inicial do sistema, ilustrada na figura 2, o usuário pode selecionar a opção desejada, por meio dos seguintes ícones localizados na área esquerda da tela:

- *Mapa*: apresenta a localização das subestações monitoradas pelo SISMEF;
- *Gráfico*: permite a visualização do comportamento das grandezas tensão e corrente (em módulo e ângulo), frequência, potências ativa e reativa, de instalações selecionadas;
- *Estatísticas*: fornece informações relacionadas à qualidade da transmissão dos dados (qualidade e latência das medidas, por exemplo);
- *Adicionar Dispositivos*: possibilita a inclusão de novas PMUs e PDCs;
- *Gerenciar Dispositivos*: permite editar a configuração das PMUs e do PDC;
- *Gerenciar Output Streams*: gerencia a saída de dados (envio de dados entre PDCs, por exemplo);
- *Configuração Atual*: permite visualizar as configurações gerais do SISMEF (servidor e banco de dados, por exemplo);
- *Recursos do Sistema*: apresenta estatísticas relacionadas ao uso do próprio SISMEF;
- *Status do Sistema*: fornece um relatório sobre as configurações do SISMEF;
- *Reiniciar o SISMEF*: permite a reinicialização do sistema.



FIGURA 2 – Tela Inicial do SISMEF

A figura 4 ilustra a tela apresentada quando esta opção é escolhida. Conforme já citado, o usuário poderá selecionar a visualização da variação da tensão e da corrente (módulo e ângulo), da frequência e das potências ativa e reativa, das instalações desejadas.



FIGURA 4 – Opção Gráfico

### (c) Opção PIT

Ao ser selecionada a opção *PIT* (Previsor de Instabilidade de Tensão), aparecerá uma tela, como aquela ilustrada na figura 5. A equipe da UFMG desenvolveu uma metodologia que calcula um índice previsor de instabilidade de tensão, denominado Índice-PIT.

Este índice informa a distância do ponto de operação atual do sistema elétrico ao limite da MST (Margem de Segurança de Tensão) ditado pelo ONS, no documento Procedimentos de Redes - Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos (8). O índice é monitorado continuamente e, em conjunto com as demais informações apresentadas na tela, permite avaliar a segurança do sistema, com relação à estabilidade de tensão. Isto permite que ações preventivas possam ser tomadas no sentido de se evitarem situações de instabilidade. Os passos desta metodologia e sua aplicação em barramentos do SIN (Sistema Interligado Nacional) se encontra detalhados em trabalhos anteriormente publicados pelos autores (2)(3)(5).

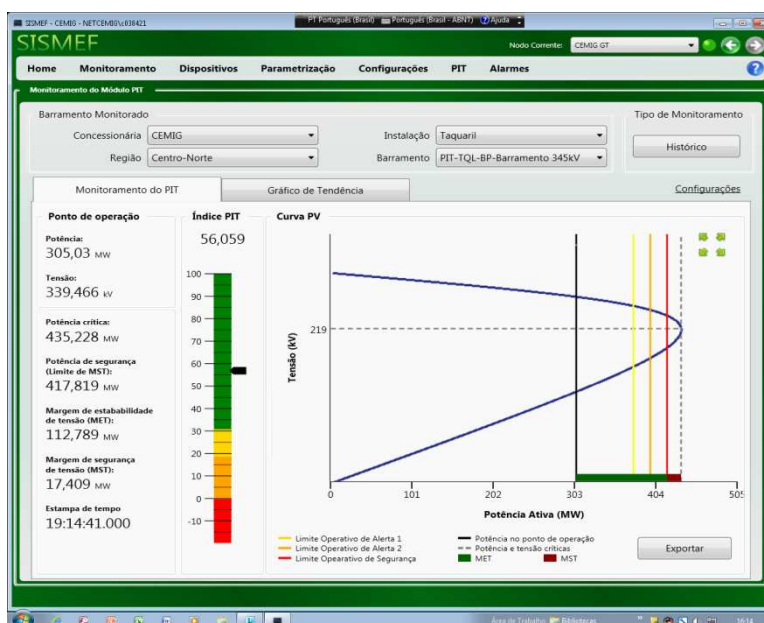


FIGURA 5 – Opção PIT

Por meio da tela da figura 5, o usuário pode selecionar o barramento a ser monitorado e o tipo de monitoramento (tempo real ou histórico). Dentre as grandezas apresentadas na interface estão incluídas a potência e a tensão do ponto de operação, a potência do limite da MST e as potências relativas às margens. A curva PV é indicada, bem como o Índice-PIT, por meio de um mostrador linear vertical. Adicionalmente, são incluídos alarmes indicando a proximidade de situações críticas e, também, a visualização de gráficos de tendência de grandezas selecionadas.

## 5.0 - CONCLUSÃO

O SISMEF representa um marco significativo para a evolução da implantação dos sistemas de medição fasorial no Brasil e, em especial, para a operação dos sistemas de potência. As etapas desenvolvidas, desde a sua idealização até a implantação no sistema da empresa, mostram que a implementação de um sistema do porte do SISMEF não é trivial. Muitos foram os desafios que precisaram ser vencidos, porém os ganhos advindos com o projeto se manifestaram em todas as esferas, com relação aos parceiros, CEMIG, Concert e UFMG.

O desenvolvimento de um projeto desta natureza propicia a discussão sobre a utilização de novas tecnologias na gestão do sistema de potência. O SISMEF está em sintonia com as metas atuais da CEMIG relativas à melhoria dos resultados operacionais, por meio do aprimoramento dos processos, e de gestão dos seus ativos. Benefícios diretos são esperados quanto à melhoria dos índices de qualidade da empresa, relacionados à redução de desligamentos, à rapidez no restabelecimento e ao atendimento dos prazos estabelecidos trazendo benefícios para toda a sociedade.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANDRADE, S.R.C., "Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada: Aplicações para Melhoria da Operação de Sistemas Elétricos de Potência", Dissertação de Mestrado, PPGEE/UFMG, 2008.
- (2) SILVA, R.G.F., Vale, M.H.M., Chaves, F.S. Ribeiro, G., Andrade, S.R.C., "Avaliação da Margem de Estabilidade de Tensão em Tempo Real Utilizando Dados dos Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada", XI EDAO, Florianópolis – Santa Catarina, 22 a 26 de novembro de 2010.
- (3) VALE, M.H.M., Ribeiro, G., Chaves, F.S., Silva, R.G.F., Andrade, S.R.C. "Margem de Estabilidade de Tensão em Tempo Real Utilizando Dados dos Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada", XIV ERIAC, Paraguai, 29 de maio a 02 de junho de 2011.
- (4) SANTOS, A.F.C.R., Vale, M.H.M., Chaves, F.S. Andrade, S.R.C. "Sistema de Medição Fasorial Sincronizada: Aplicações na Recomposição do Sistema Elétrico de Potência", XIV ERIAC, Ciudad del Este – Paraguai, 29 de maio a 02 de junho de 2011.
- (5) LEAL, O.E. S., Vale, M.H.M., Chaves, F.S., Martins, D.S. "Tecnologia de Medição Fasorial Sincronizada – Determinação da Margem de Estabilidade de Tensão nas Análises Integradas de Planejamento da Operação e de Tempo Real", XII SEPOPE, Rio de Janeiro, maio de 2012.
- (6) OPENPDC.ORG, 2010. The Open Source Phasor Data Concentrator. Site: <http://openpdc.codeplex.com/> Acessado em 2 de dezembro de 2010.
- (7) *Workshop Synchronized Phasor Measurement Systems*, organizado pela CEMIG, Concert e UFMG, Belo Horizonte – MG, 1 e 2 de agosto de 2011.
- (8) ONS – Operador Nacional do Sistema, "Procedimentos de Rede – Submódulo 23.3 (item 11, subitem 11.18) – Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos", Site: [http://www.ons.org.br/procedimentos/modulo\\_23.aspx](http://www.ons.org.br/procedimentos/modulo_23.aspx), Acessado em 12 de janeiro de 2012.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

**Sônia Ribeiro Campos Andrade** é Engenheira Eletricista da Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig, onde executa atividades de Planejamento da Operação e Automação de Sistemas Elétricos de Potência. Possui mestrado em Sistemas de Energia Elétrica pela UFMG, e MBA em Gestão Empresarial pela FGV.

**Maria Helena Vale Murta** é professora Associada do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) atua no LRC (*Lightning Research Center*) na área de Sistemas Elétricos de Potência. Seu campo de atuação abrange as áreas de Expansão e Operação de Sistemas Elétricos, incluindo trabalhos de natureza acadêmica e aplicada junto a empresas de energia elétrica.

**Fabício Silveira Chaves** é doutor em Engenharia Elétrica pela UFMG atua na área de Sistemas Elétricos de Potência. Atualmente integra o corpo de pesquisadores do LRC/UFMG, realizando projetos de pesquisa e desenvolvimento em parceria com a CEMIG.

**Guilherme Esteves Campos** é Engenheiro de Controle e Automação pela UFMG , trabalha atualmente Como Analista na Concert Technologies.