

## LABPMU – LABORATÓRIO DE MEDIÇÃO SINCROFASORIAL

### LABPMU – SYNCHROPHASOR LABORATORY

Alves Jr, J.E.R.<sup>1</sup>, Bandim, C.J.<sup>1</sup>, Melo, A.J.C.<sup>1</sup>, Moraes, T.F.<sup>1</sup>, Santos, J.C.R.<sup>1</sup>, Rueda, O.S.<sup>1</sup>, Brito, L.C.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cepel – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

alves@cepel.br

**Resumo:** O Laboratório de Medição Fasorial Síncrona (LabPMU) do Cepel é uma infraestrutura para apoio à realização de ensaios e pesquisa aplicada em Unidades de Medição Fasorial (PMUs). O objetivo principal do LabPMU é dotar o Cepel de capacidade para atender às necessidades de realização de ensaios, estudos e pesquisa experimental envolvendo medição sincrofásorial. Este artigo apresenta as facilidades do LabPMU, avaliações iniciais de desempenho de algumas PMUs e o estágio inicial do desenvolvimento de sistema de teste de aplicativos computacionais para PMUs.

**Palavras-chave:** Redes Inteligentes, Unidade de Medição Fasorial, Sistema Elétrico de Potência.

**Abstract:** Cepel's Synchrophasor Laboratory (LabPMU) is an infrastructure that allows tests of Phasor Measurement Units (PMUs) and provides a computational platform for testing software applications using PMU's data. The main objective of the Lab is to provide the necessary capability to Cepel meet the requirements involving synchrophasor measurement tests of PMUs, experimental research and studies regarding synchrophasor systems. This paper presents the facilities of LabPMU, initial evaluation of PMUs at the laboratory and the initial stage of development of a system focused on testing PMU applications.

**Keywords:** Smart Grids, Phasor Measurement Unit, Power Electric Grid.

## 1. INTRODUÇÃO

Sistemas de medição fasorial, cujos principais componentes são PMUs, permitem relacionar informações de fase e magnitude de tensões e correntes em várias subestações localizadas nos mais diversos pontos geográficos de um sistema elétrico de potência. Para isso, utilizam sincronização baseada em satélites (GPS). As

PMUs são de especial importância para a operação do Sistema Interligado Nacional (SIN), sobretudo para as atividades de supervisão em tempo real, análise de perturbações, validação de modelos e avaliação de desempenho dinâmico de controles e proteções sistêmicas. Dentre outras qualidades, permitem identificar situações de risco para a segurança dinâmica do sistema, e preveni-las através de rápidas ações corretivas.

A criação do Laboratório de Medição Fasorial Síncrona (LabPMU) no Cepel, na Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, visa à realização de ensaios em bancada, prospecção e trabalho de campo. As principais áreas de atuação do LabPMU são:

- Ensaios de referência em equipamentos com função de PMU, buscando verificar sua adequação às normas pertinentes e ajustes necessários em hardware ou software;
- Avaliação de novos aplicativos, antes de sua disponibilização para uso em campo.

O desenvolvimento do LabPMU conta com recursos próprios do Cepel e também com financiamento do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento – Bird (Banco Mundial), através do Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia e Mineral do Ministério das Minas e Energias (Projeto META).

## 2. INFRAESTRUTURA DO LABPMU

O LabPMU conta com uma moderna infraestrutura composta por 5 estações de trabalho, Osciloscópio de 1 GHz de alto desempenho, 10 equipamentos PMU de diferentes fabricantes, 2 PDCs (PMU Data Concentrator), antenas de GPS, rede de dados de 1 Gigabit, e um Calibrador de PMUs modelo 6135/PMUCAL [1] (único na América Latina) cujo desenvolvimento teve a participação do NIST. Além disso está em curso processo de aquisição de um simulador digital em tempo real.

### 2.1. Calibrador de PMUs

O calibrador possui certificado de calibração emitido pelo laboratório UKAS, da Inglaterra e, segundo o certificado de calibração emitido, atende o requisito de incerteza menor que a quarta parte do limite de aceitação de cada ensaio. A figura 1, a seguir, apresenta o diagrama geral do calibrador. Os fasores da PMU sob teste

são comparados à PMU teórica, interna ao calibrador.

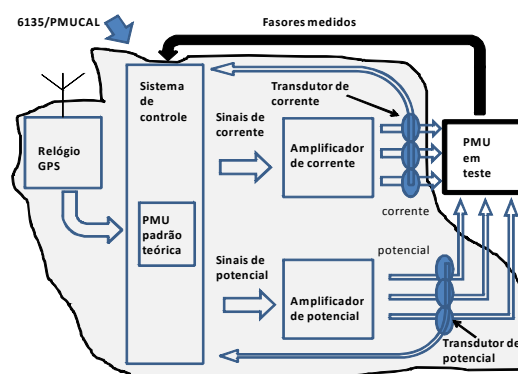


Figura 1 – Diagrama geral do calibrador

A calibração do calibrador sugerida pelo fabricante apresenta-se na figura 2. Os sinais analógicos de cada ensaio são digitalizados por um sistema de aquisição de dados sincronizado pelo GPS e comparados com os sinais matemáticos gerados por um modelo em computador.

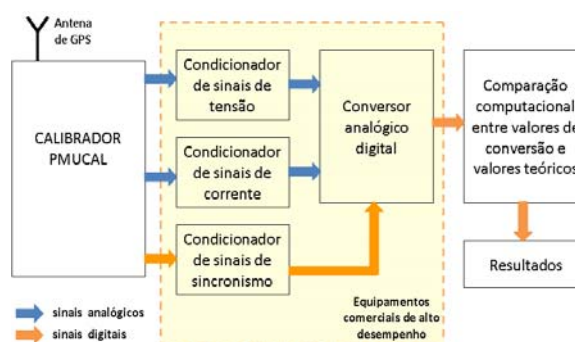


Figura 2 – Calibração do calibrador de PMUs

## 3. ENSAIOS DE REFERÊNCIA EM PMUS

### 3.1. Normas de PMUs

As normas atualmente em vigor para ensaios de PMUS são: IEEE C37.118-1:2011 [2], dedicada à medição dos sincrofasores e IEEE C37.118-2:2011 [3] referente à transmissão de dados. Em 2014, a norma IEEE C37.118-1:2011 teve alguns de seus requisitos modificados pelo documento normativo IEEE C37.118-1aTM:2014 [4] (“amendment”).

### 3.2. Ensaios disponíveis

Todos os ensaios especificados na norma IEEE C37.118-1:2011 [2] podem ser realizados pelo LabPMU. Estes ensaios podem ser agrupados em ensaios estáticos, ensaios dinâmicos e ensaios de latência. Dentre os ensaios estáticos, podemos destacar ensaios de rejeição a harmônicos e inter-harmônicos. Para os ensaios dinâmicos podemos destacar os ensaios de degrau em amplitude e fase e ainda ensaios de rampa de frequência. O ensaio de latência permite verificar o atraso entre a medição e a exteriorização do resultado.

### 3.3. Resultados de calibração em PMUs

Realizaram-se ensaios em 10 PMUs de três fabricantes diferentes (A, B e C) e verificaram-se padrões de comportamento diversos entre elas. A figura 3 apresenta um exemplo de resultado para o teste de inter-harmônicos. Neste teste são injetados sinais com componentes inter-harmônicas ao sinal da frequência fundamental. O erro vetorial total da PMU (TVE ou “total vector error”) deve ser inferior a 1,3%. A incerteza declarada no certificado para as frequências usadas no ensaio é sempre inferior a 0,05% para um grau de confiança de 95%. São realizados ensaios para as três fases das tensões e correntes e ainda para a sequência positiva de tensão e de corrente. No caso do fabricante B, a PMU 5, com firmware mais antigo, não passou. As PMUs 3 e 4, com firmware atualizado, passaram no teste.

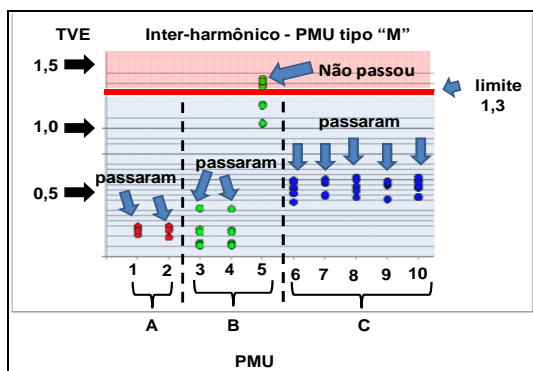


Figura 3 – Ensaio de inter-harmônicos

## 4. AVALIAÇÃO DE APLICATIVOS PARA PMUS

Um foco importante relacionado a aplicativos para PMUs é o fato de que a taxa de amostragem proporcionada pelas PMUs, de até 60 fasores/segundo, pode proporcionar um acompanhamento dinâmico do sistema elétrico permitindo a visualização de oscilações eletromecânicas. Neste sentido, o LabPMU está desenvolvendo uma ferramenta computacional que cria PMUs virtuais a partir de resultados das simulações digitais realizadas pelo programa ANATEM [5] do CEPEL (programa de transitórios eletromecânicos mais utilizado no Brasil) com PDCs, visando o teste de aplicativos diversos envolvendo PMUs.

A figura 4 apresenta esta modalidade: a simulação do programa ANATEM do Sistema Elétrico é convertida para o que seriam saídas de PMUs segundo a norma IEEE C37.118-2:2011 [3], que por sua vez são enviadas ao PDC para serem disponibilizados para o aplicativo a ser avaliado. Planeja-se incluir as naturais não idealidades das PMUs na simulação, informações obtidas nos testes de referência supracitados, de forma a antecipar o máximo possível de situações reais. É prevista também a inclusão de não idealidades dos transdutores, que afetam o resultado de PMUs, como relatado em [6].

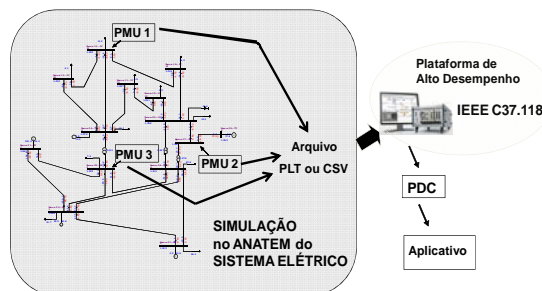


Figura 4 – Arranjo para testes de aplicativos

### 4.1. Exemplo de avaliação de aplicativo

Visando verificar a aplicabilidade da ferramenta em desenvolvimento, apresenta-se o caso

de curto-circuito em uma linha de transmissão de um sistema elétrico hipotético, modelado de forma a realçar oscilações. A simulação no ANATEM foi transformada em PMUs virtuais. Os sincrofasores gerados por estas PMUs foram enviados para um aplicativo de PMUs denominado SOM [7], desenvolvido pelo CEPEL. O objetivo do aplicativo é identificar a magnitude, frequência natural de oscilação e decaimento de um sinal através do método de Prony [8]. A tensão de uma barra próxima ao curto foi hipoteticamente admitida como uma saída de PMU. A avaliação deste sinal pelo SOM apresenta-se na figura 5. Observa-se uma frequência natural de oscilação de 0,6 Hz, com um decaimento final de aproximadamente -0,1, correspondendo a um coeficiente de amortecimento de 0,1 [9].

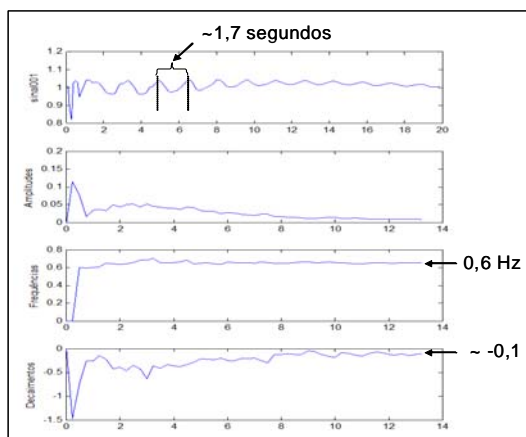


Figura 5 – Avaliação do aplicativo SOM

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o Laboratório de Medição Fasorial Síncrona (LabPMU) do Cepel. Trata-se de uma infraestrutura para apoio à realização de ensaios e pesquisa aplicada em Unidades de Medição Fasorial (PMUs). Foram descritas as duas vertentes do laboratório: os ensaios de referência em PMUs e o desenvolvimento de uma plataforma para teste de aplicativos. Apresentou-se o calibrador de PMUs

e um exemplo de resultado de ensaio com PMUs. A concepção de um sistema para avaliação de aplicativos de PMUs foi mostrada, incluindo-se um caso hipotético com aplicativo desenvolvido no Cepel.

Como previsão de trabalhos futuros do laboratório, dever-se-á adquirir um simulador em tempo real digital, podendo ser conectado a PMUs. Com isto, pretende-se antecipar situações do sistema elétrico brasileiro incluindo PMUs reais, de forma a verificar o desempenho de aplicativos de forma ainda mais fidedigna.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] 6135A / PMUCAL - Phasor Measurement Unit Calibration System, <http://us.flukecal.com/products/electrical-calibration/electrical-calibrators/6135apmucal-phasor-measurement-unit-calibrati>, acessado em 30/08/2015.
- [2] IEEE C37.118.1™-2011, IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems, 2011.
- [3] IEEE C37.118.2™-2011, IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems, 2011.
- [4] Amendment IEEE C37.118.1a-2014.
- [5] Oliveira, S.E.M., Rangel, R.D., Thomé, L.M.S., Baitelli, R., Guimarães, C.H.C., “Programa ANATEM para simulação do desempenho dinâmico dos sistemas elétricos de potência”, IV SEPOPE, 23 a 27/05/1994, Foz do Iguaçu-PR, Brasil.
- [6] Brito, L.C.G., Alves Jr., J.E.R., Taranto, G.N., “Análise dos erros de transformadores de corrente na exatidão dos sistemas de medição sincronizada de fasores”, XXII SNPTEE, 2013.
- [7] Rodrigues, M.A.M., Lima, L.C., Volskis, H.A.R., Sollero, R.B., Mano, R., “Análise de sincrofasores para detecção de oscilações em sistemas elétricos interligados”, IX STPC, Belo Horizonte, Minas Gerais, Junho, 2008.
- [8] Liu, G., Quintero, J., Venkatasubramanian, V.M., “Oscillation Monitoring System Based on Wide Area Synchrophasors in Power Systems”; IREP Symposium - Bulk Power System Dynamics and Control, 2007.
- [9] Ogata, K., “Engenharia de Controle Moderno”, Prentice/Hall do Brasil, 1982.