

ATIVIDADES DO LABORATÓRIO DE COMPUTAÇÃO INTENSIVA DO CEPEL – LABCIN

Período: 1º Semestre/2016

No âmbito do projeto **DECOMP**, responsável pelo planejamento da geração de curto prazo, foram realizadas diversas rodadas para validação interna, pelo CEPEL, da versão 24.2 do programa DECOMP. Estas validações consistiram na execução, a cada nova versão do modelo, de mais de 380 casos, correspondentes ao histórico dos Programas Mensais de Operação (PMO) e revisões, de 2009 até hoje, para verificar a adequação das recentes funcionalidades implementadas no modelo.

Dentre essas funcionalidades se destacam:

- 1) Leitura do arquivo "vazoes.xxx" gerado pela versão 5.3 do programa GEVAZP; e
- 2) Cálculo das ENAS de acoplamento com o Newave utilizando as vazões lidas no arquivo "vazao.xxx" gerado pela versão 5.3 do Gevazp. Estas implementações foram desenvolvidas em conjunto com o modelo Gevazp, versão 5.3

No segundo trimestre de 2016, incorporou-se ao modelo **SUISHI**, modelo de Simulação a Usinas Individualizadas para Sistemas Hidrotérmicos Interligados desenvolvido pelo CEPEL (modelo de médio prazo para a simulação da operação energética em sistemas hidrotérmicos interligados), as metodologias necessárias para a consideração de diferentes Reservatórios Equivalentes de Energia dentro de um mesmo Submercado, assim como para a consideração do acoplamento hidráulico entre REEs, sendo o modelo SUISHI submetido a um processo de validação realizado pelo Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais de Expansão e Operação – GT7”, no âmbito da Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico - CPAMP. Durante o segundo trimestre de 2016, o Cluster 3 foi intensamente utilizado para a realização de testes das metodologias descritas anteriormente, que deram origem às versões protótipo 10.1 e 10.1.1. Os testes foram realizados em diferentes plataformas de dados, tais como o Plano Mensal de Operação (PMO) de agosto de 2015, de janeiro e março de 2016, além dos dados utilizados no Leilão de Energia Nova A-5 de 2015.

Já no projeto **NEWAVE**, no âmbito do Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais de Expansão e Operação” – GT7/CPAMP estão sendo avaliados novos valores para os parâmetros do método de aversão a risco CVAR utilizado pelo modelo NEWAVE. Durante o segundo trimestre, foram rodados no Cluster 3 um grande número de casos considerando diferentes combinações de parâmetros, além de sua aplicação em diversas configurações.

Conforme Relatório de Atividades enviado pelo Sr. Felipe Marques Kede Melo, no cluster que se encontra no Ministério de Minas e Energia – MME foram rodados com êxito os casos conforme solicitados pelas áreas responsáveis.

Versões instaladas no período:

- Decomp 24

Manutenção de Hardware

Não houve manutenções de hardware nesse período no cluster que se encontra no CEPEL.

Não houve manutenções de hardware nesse período no cluster que se encontra no MME.

Índice de Ganho de Execução (IGE)

O índice IGE fornece o ganho obtido pelo LABCIN, em termos de quantidade de casos simultâneos e através da comparação dos tempos médios de execução que o programa Newave leva para resolver os casos oficiais de PMO num determinado período de apuração.

Para o período de janeiro a junho de 2016, os tempos médios de execução dos casos de PMO estão apresentados na tabela a seguir.

Casos PMO	Cluster 2 - Tempos de Execução		Cluster 3 - Tempos de Execução	
	(h/m/s)	(s)	(h/m/s)	(s)
Janeiro/2016	2h 21min 26s	8486	2h 11min 30s	7830
Fevereiro/2016	3h 32min 19s	12739	2h 56min 32s	10592
Março/2016	6h 03min 26s	21806	4h 31min 07s	16267
Abril/2016	4h 10min 57s	15057	4h 02min 46s	14566
Mai/2016	2h 38min 56s	9536	2h 20min 37s	8437
Junho/2016	3h 07min 49s	11269	2h 31min 11s	9071
Total	-	78893	-	66763

Aplicando os valores para os seis primeiros meses de 2016, o índice IGE será calculado da seguinte forma:

$$IGE = \frac{78893}{66763} \times \frac{24}{21} = 1.3505$$

Desta forma, o LABCIN obteve um ganho de 35.05% na disponibilidade dos recursos computacionais do laboratório durante o período de apuração do primeiro semestre de 2016.

ATIVIDADES DO LABORATÓRIO DE MEDIÇÃO FASORIAL SÍNCRONA - LABPMU

Período: 1º Semestre/2016

1. Realização de testes de Latência em PMUs.

A latência da PMU (Unidades de Medição Fasorial) é definida na norma IEEE C37.118-1 como o máximo intervalo de tempo entre o registro da estampa de tempo do fasor e o momento quando o dado fica disponível na saída da PMU. A Figura 1 ilustra como é definida a latência de um equipamento PMU.

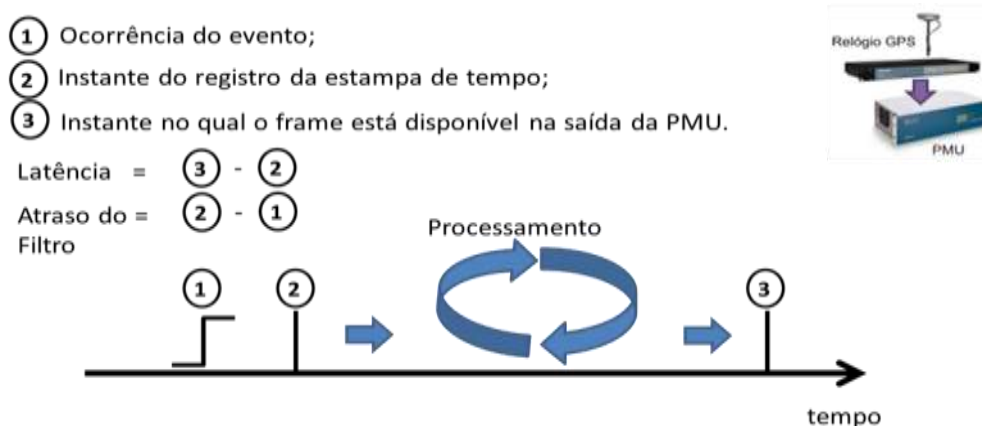


Figura 1 - Ilustração do conceito de latência.

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos em laboratório por meio do Calibrador de PMUs - PMUCal (Fluke 6135A).

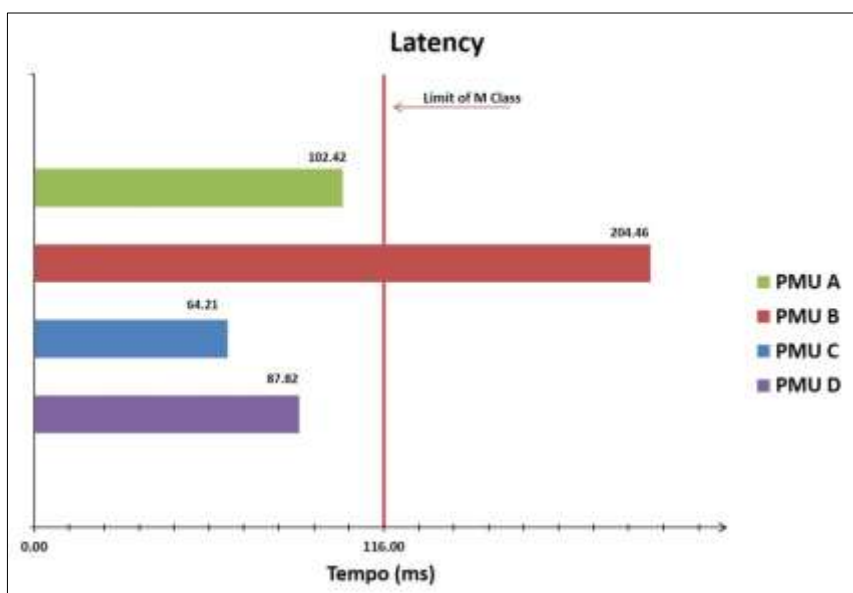


Figura 2 - Resultados para os testes de latência realizados em equipamentos de quatro fabricantes de PMUs.

2. Realização de teste de holdover.

O teste de *holdover* consiste em avaliar o desvio de tempo de um relógio de sincronismo quando o sinal de *GPS* é perdido. O procedimento de teste é realizado da seguinte forma:

- Primeiramente o relógio da *PMU* é sincronizado pelo sinal de *GPS*;
- Em seguida a antena é desligada do relógio; e
- O desvio de tempo é medido com relação ao sinal de 1 pulso por segundo (PPS) de um relógio sincronizado, por meio de um osciloscópio.

A Figura 3 apresenta os resultados para o teste de *holdover* realizados em dois relógios de fabricantes diferentes.

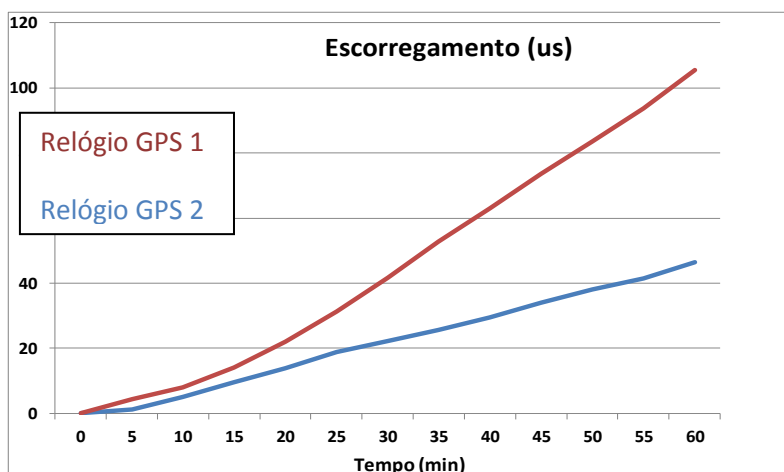


Figura 3 - Resultado para o teste de Holdover.

Observou-se que o desvio de tempo se dava muito rapidamente, alcançando 24us (limite para *TVE* de 1%) em dezenas de minutos. Constatado este comportamento, foi testado um equipamento comercial alternativo capaz de garantir um desvio de tempo menor que 5us em até 6 horas uso. A Figura 4 apresenta o resultado do teste de *holdover* para esse equipamento.

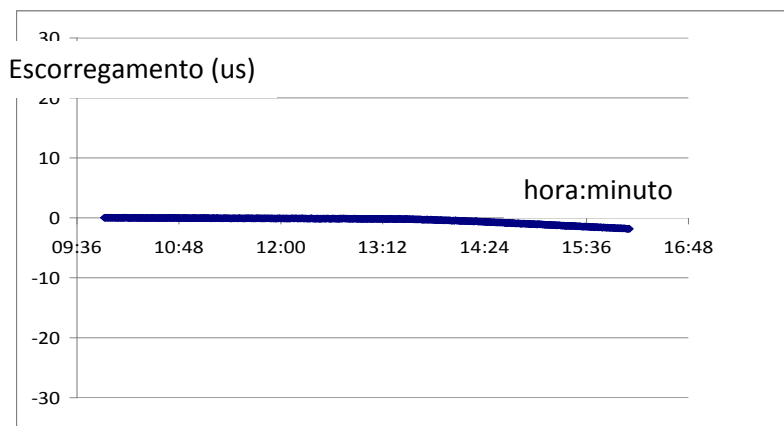


Figura 4 - Resultado do teste de *holdover* para o equipamento comercial alternativo.

3. Teste de Degrau de Fase

Nestes testes foram avaliadas as respostas das PMUs na ocorrência de um degrau de fase no sistema elétrico. A Figura 5 ilustra um exemplo de degrau de fase.

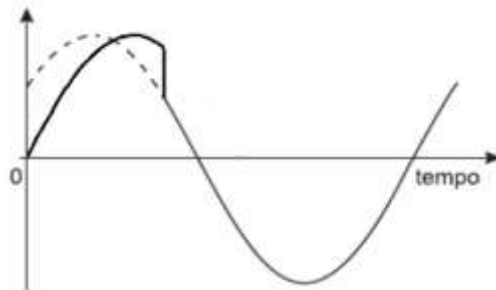


Figura 5 - Exemplo de degrau de fase.

As métricas avaliadas foram:

- a) *Delay Time* (Atraso de resposta do filtro de entrada da PMU);
- b) *TVE* (Erro Vetorial Total);
- c) *FE* (Erro de Frequência);
- d) *RFE* (Erro de Variação de Frequência);
- e) *Overshoot* (Relação entre o valor excedido e o valor do degrau).

A Figura 6 apresenta o resultado para o teste de degrau de fase para uma das dez PMUs testadas. Pode-se observar que, nesse teste em específico, essa PMU não passa na métrica *FE*.



Figura 6 - Resultado de teste de degrau de fase.

4. Manutenção corretiva no PMUCal.

Durante a realização dos ensaios de latência, foi observada uma discrepância muito grande para os testes com o mesmo equipamento PMU sob as mesmas condições. Isso levou à investigação de um possível problema no PMUCal. Durante a investigação, foi detectado um problema no cabo responsável por enviar o sinal de sincronismo para o computador do PMUCal. O problema estava em uma solda danificada de um resistor embutido no cabo. A Figura 7 mostra o resistor danificado. Após a substituição do cabo, o sinal de sincronismo foi reestabelecido e o problema solucionado.



Figura 7 - Fotografia do resistor danificado.

A Figura 8 apresenta os resultados do teste de latência com o cabo ainda danificado.

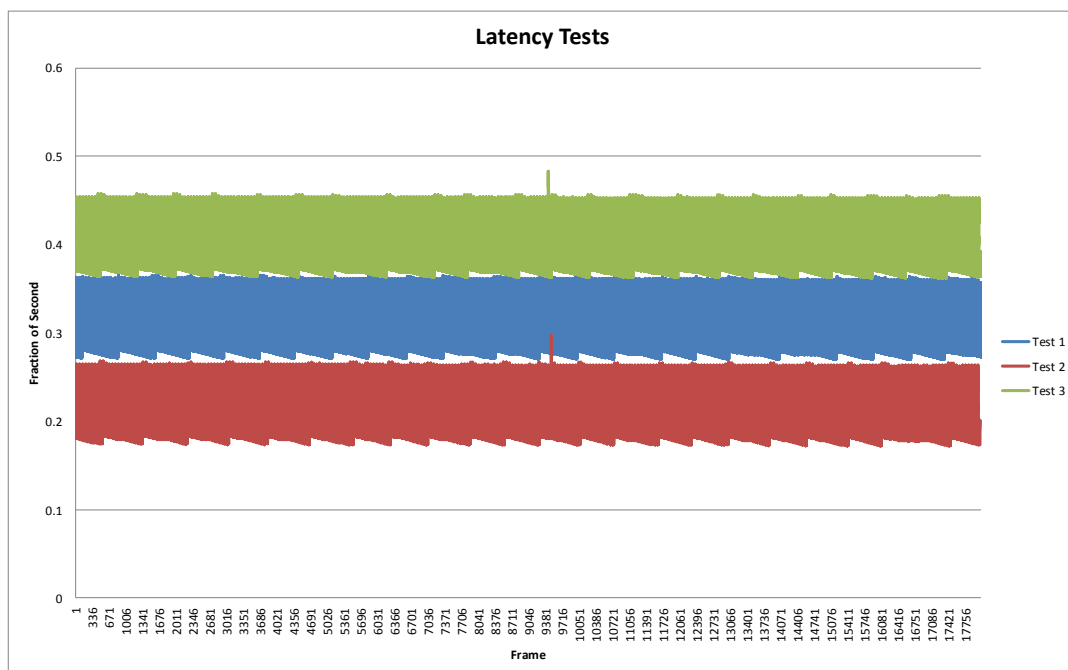


Figura 8 - Gráfico dos testes de latência com cabo danificado.

A Figura 9 apresenta os resultados para o teste de latência com o cabo já reparado.

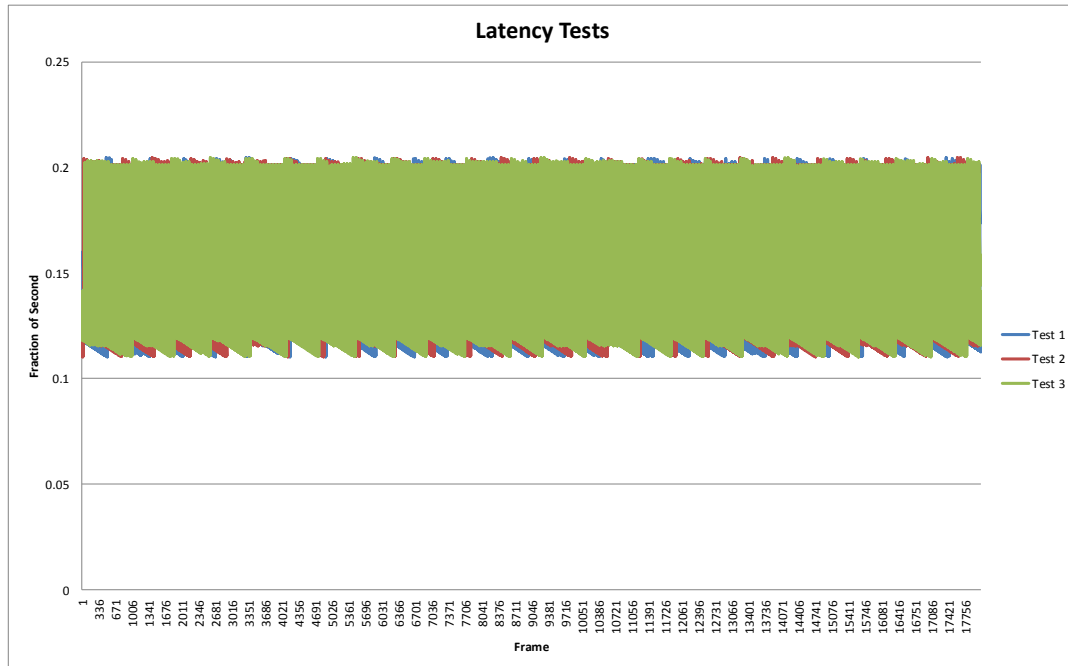


Figura 9 - Gráfico dos testes de latência após correção do cabo.

5. Contribuições para adequar os equipamentos PMUs à Norma IEEE C37.118 - 2.

Durante a realização do teste de um equipamento PMU específico, foi observado uma incoerência temporal nos gráficos de TVE apresentados pelo PMUCal.

A análise dos resultados obtidos levou a concluir que o problema estava na estampa de tempo nos frames da PMU que não correspondiam ao descrito na norma IEEE C37.118-2.

Após a constatação do problema, foi feito contato com o fabricante para correção do firmware do equipamento PMU. Com as devidas correções feitas no firmware, o equipamento PMU passou a operar de forma correta.

A Figura 10 apresenta o gráfico onde é possível observar que alguns pontos foram inseridos incorretamente devido ao problema na estampa de tempo do equipamento em questão.

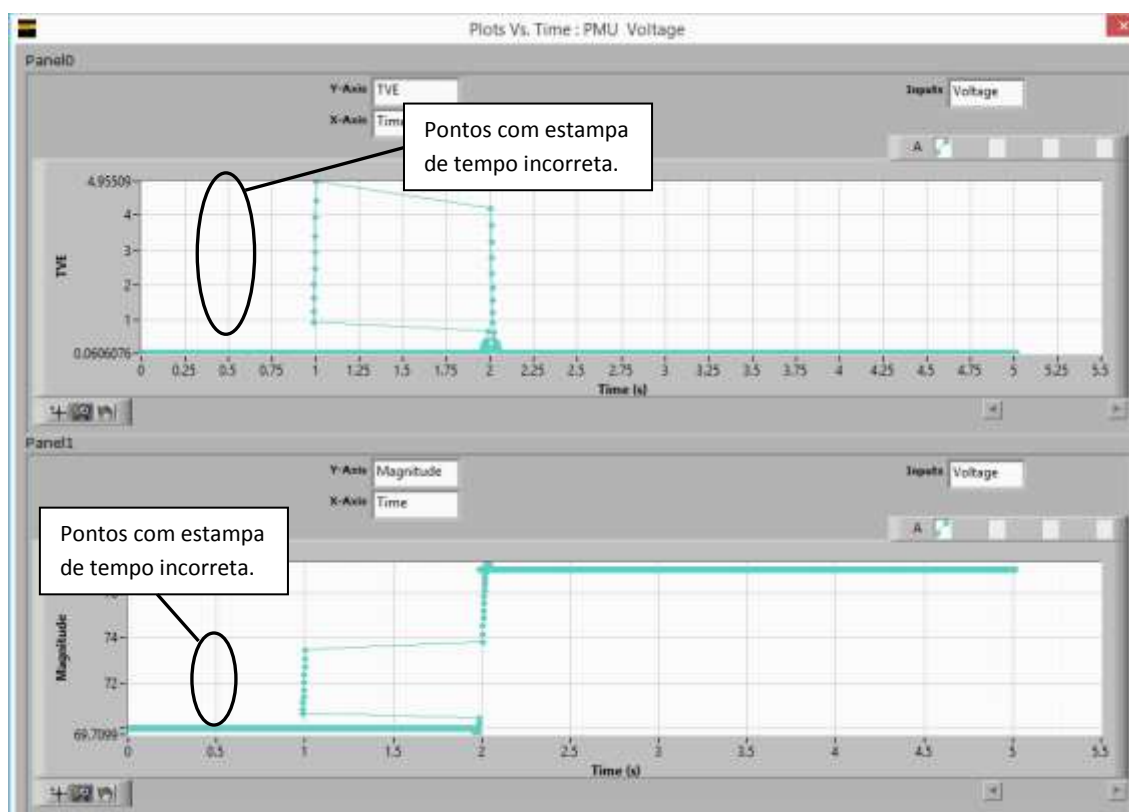


Figura 10 - Gráfico apresentado pelo PMUCal.

6. Primeiro teste em equipamento PMU de cliente.

Nos dias 22 e 23 de março de 2016, o LabPMU realizou o primeiro teste de referência em equipamento PMU para um cliente externo. Os testes foram todos acompanhados por um representante do fabricante que também foi o responsável por parametrizar o equipamento PMU. A parametrização é muito importante, pois se realizada incorretamente, pode acarretar a reprovação do equipamento PMU frente à norma IEEE C37.118-1.

Por fim, o equipamento foi aprovado de acordo com a norma e os resultados obtidos foram condensados em forma de relatório para o cliente.

7. Plataforma para teste de aplicativos.

Foi concebido e iniciado o desenvolvimento de um novo módulo, para a plataforma para teste de aplicativos, visando a geração de sincrofasores a partir de sinais arbitráveis pelo usuário.

Uma aplicação prática que está sendo estudada para este módulo é o teste de desempenho de um aplicativo que detecta os modos de oscilação presentes no sistema e classifica estes modos por faixas de amortecimento.

A Figura 11 mostra o comportamento do aplicativo sob teste ao analisar um sinal arbitrário de tensão que apresenta forte amortecimento após a aplicação de um degrau. O aplicativo foi submetido a um único modo de oscilação com frequência de 0,5 Hz.

Os pontos coloridos indicam a frequências detectadas, e as cores indicam:

- a) Verde: aceitável, amortecimento maior que 5%;
- b) Amarela: no limite, amortecimento de 0% a 5%;
- c) Vermelha: além do limite aceitável, amortecimento menor que 0%.

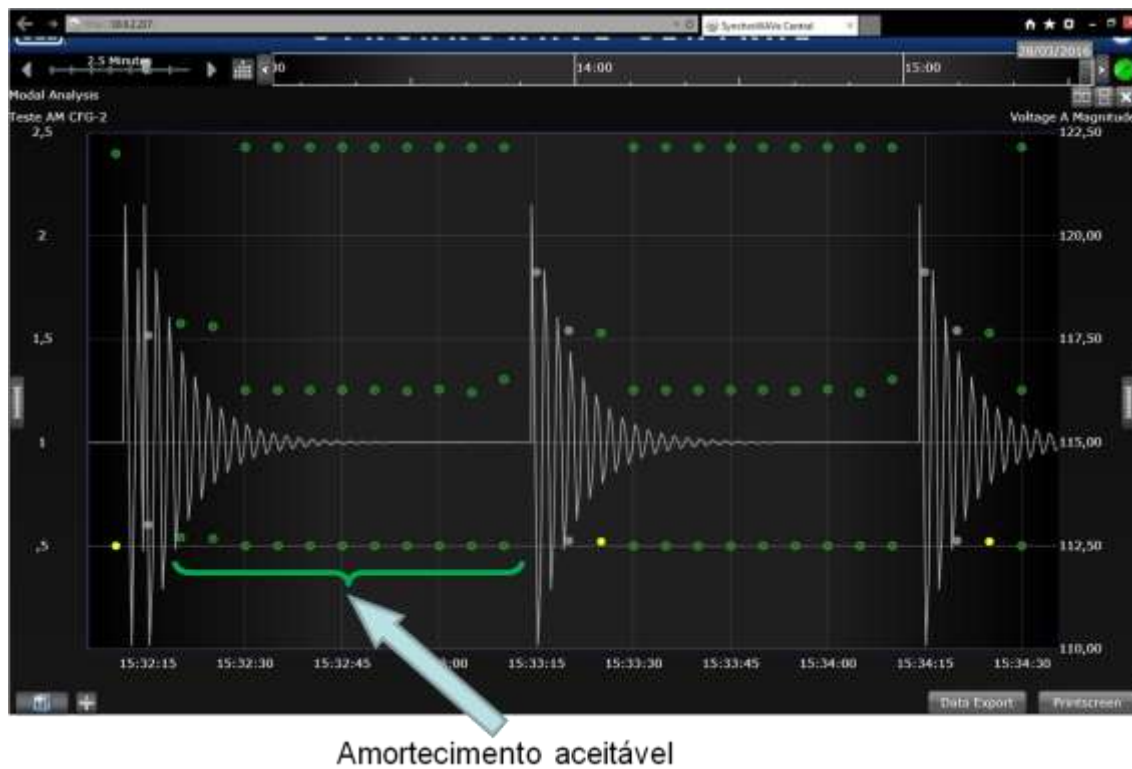


Figura 11 – Resposta do aplicativo após degrau de tensão.

A Figura 12 mostra o comportamento do aplicativo ao analisar um sinal arbitrado que alterna bruscamente entre uma situação não-amortecida e outra pouco amortecida, e vice-versa.

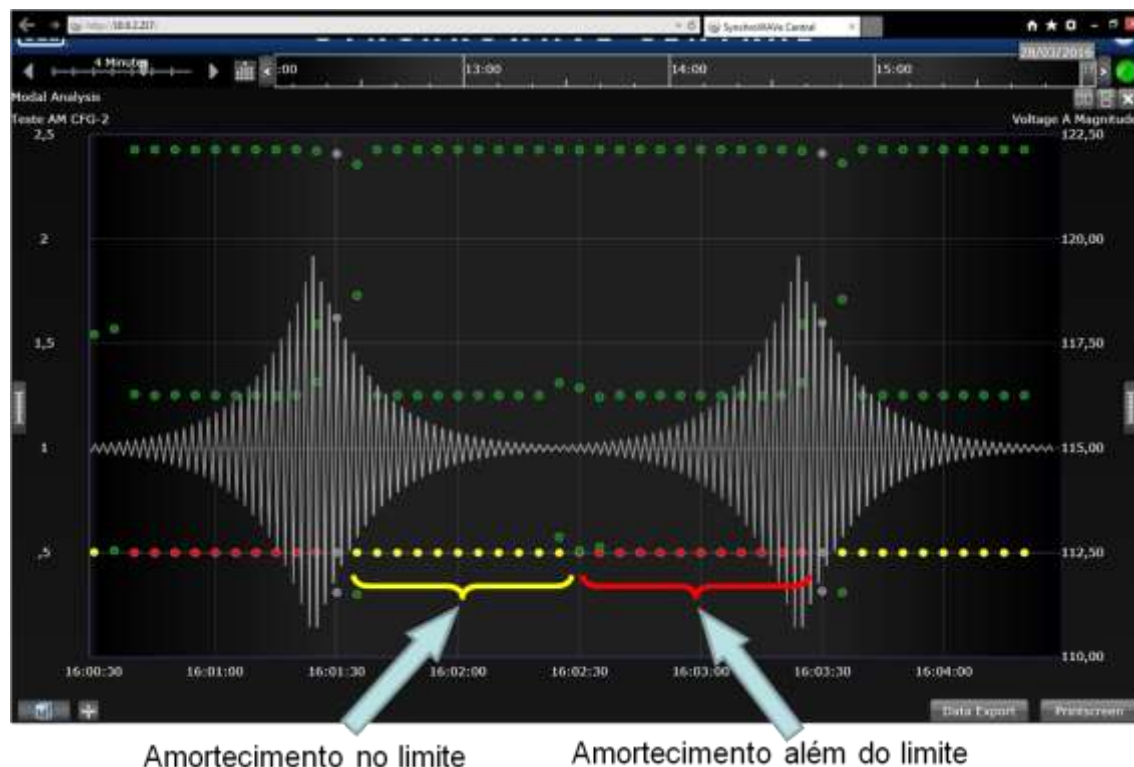


Figura 12 – Resposta do aplicativo com amortecimentos alternados.

8. Relatos da utilização dos equipamentos já adquiridos no período e dos indicadores de benefício da Atividade LABPMU (TR 11):

8.1 Testes de medição de componentes harmônicas sincronizadas por GPS usando-se unidades de medição fasorial síncrona com função de qualidade de energia.

As medições nas PMUs (Unidades de Medição Fasorial) são realizadas de forma sincronizada, a partir de uma referência única para todos os equipamentos, tal como a informação de tempo do Sistema de Posicionamento Global (ou *Global Positioning System* – GPS). Desta forma, obtém-se sincrofasores que podem ser comparados entre si para o registro de pontos de operação instantâneos do sistema elétrico.

Diversas aplicações de sincrofasores vem sendo estudadas e desenvolvidas. Aplicações de supervisão e de monitoração de sistemas elétricos baseadas em sincrofasores encontram-se atualmente em desenvolvimento, constatando-se, ainda, poucas alternativas comerciais disponíveis.

No âmbito destes esforços, o tema exatidão de sincrofasores medidos pelas PMUs tem recebido atenção dos pesquisadores e dos desenvolvedores da tecnologia. Neste ambiente, incluem-se questões relacionadas diretamente às PMUs, tal como qualidade da sincronia dos equipamentos, calibração interna e questões externas às PMUs, especialmente os erros introduzidos pelos circuitos de instrumentação. Há, também, o interesse em se avaliar corretamente a influência da exatidão dos sincrofasores em cada tipo de aplicação em desenvolvimento. Uma das aplicações em estudo é a utilização da medição fasorial sincronizada na Análise de Qualidade de Energia Elétrica (QEE). Para isso faz-se necessária a medição fasorial sincronizada não apenas da componente fundamental, mas também de harmônicos. Assim, além de quantizar a amplitude dos harmônicos, torna-se também possível realizar uma avaliação do fluxo de harmônicos na rede elétrica por meio do ângulo medido de cada harmônico.

Nesse contexto, foram realizados testes em um equipamento PMU específico com função de QEE (Figura A) para medição de harmônicos sincronizados por GPS. Para tanto foi utilizado o calibrador de PMU Fluke 6135A (Figura) para geração de tensões harmônicas sincronizadas por GPS.



Figura A - PMU com Função de QEE.



Figura B - Calibrador Fluke 6135A.

Os testes consistem na realização de três medições de amplitude e ângulo da tensão para cada harmônico com amplitude de 1% e 10% da fundamental. A partir dessas medições, calcula-se a média aritmética para a amplitude e para o ângulo. Baseado nessas médias, foram calculados os erros levando-se em conta os valores de referência configurados no calibrador Fluke 6135A (Figura). A Figura C a e Figura D apresentam os erros obtidos durante o ensaio para medição de amplitude e ângulo dos harmônicos respectivamente.

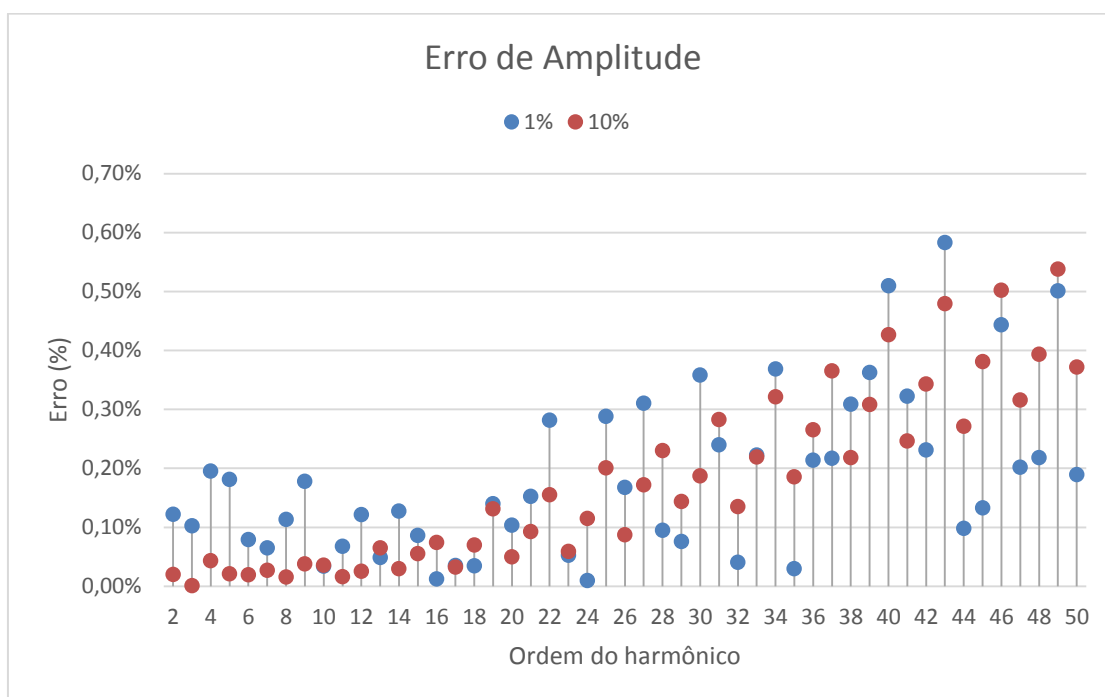


Figura C - Comparação do erro de amplitude para os testes de 1% e 10% da fundamental.

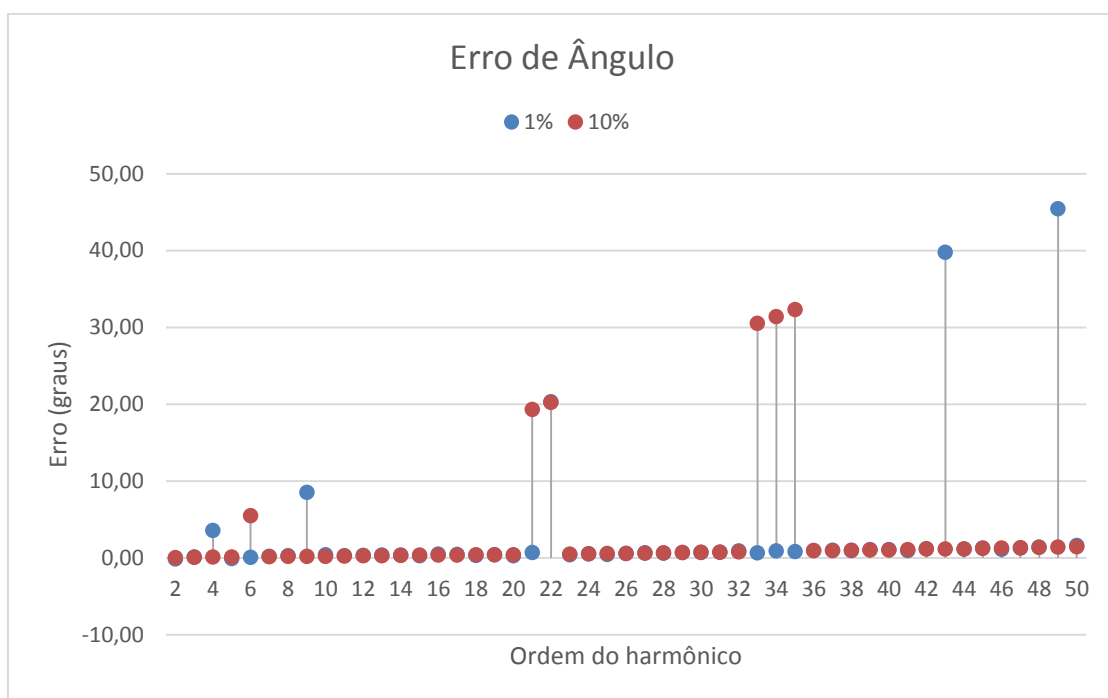


Figura D - Comparação do erro de ângulo para os testes de 1% e 10% da fundamental.

Pode-se observar, nos resultados apresentados, que os erros de ângulo foram discrepantes para algumas ordens harmônicas. Assim, vê-se a necessidade de atualização de firmware do equipamento PMU e a execução de novos testes.

8.2 Verificação da calibração dos equipamentos Fluke 6105A, 6106A (duas unidades)

Com o objetivo de averiguar o estado de calibração das fontes Fluke 6105A/6106A integrantes do equipamento PMUCal Fluke 6135A (Figura B), foi realizado em laboratório o seguinte procedimento:

- Calibração do medidor Radian RM-15 no laboratório do CEPEL, em Adrianópolis, acreditado pelo INMETRO;
- Utilização do RM-15 para realizar a calibração das fontes Fluke 6105A/6106A; e
- Avaliação dos erros na saída das fontes Fluke 6105A/6106A com base nas incertezas registradas em folhas de dados de calibração das fontes e do medidor RM-15.

As Tabela 1 e Tabela 2 apresentam os limites mínimo e máximo permitidos para as medidas de tensão e corrente considerando-se o pior caso de medição (soma das incertezas das fontes Fluke 6105A/6106A e do medidor Radian RM-15).

Tabela 1 – Limites de erro permitidos para tensão.

Tensão Fase A		Tensão Fase B		Tensão Fase C	
Min (V)	Max (V)	Min (V)	Max (V)	Min (V)	Max (V)
4.99729	5.00271	4.99729	5.00271	4.99729	5.00271
9.99458	10.00542	9.99458	10.00542	9.99458	10.00542
19.98916	20.01084	19.98916	20.01084	19.98916	20.01084
49.97290	50.02710	49.97290	50.02710	49.97290	50.02710

99.94560	100.05440	99.94560	100.05440	99.94560	100.05440
149.91840	150.08160	149.91840	150.08160	149.91840	150.08160
199.89120	200.10880	199.89120	200.10880	199.89120	200.10880
249.86400	250.13600	249.86400	250.13600	249.86400	250.13600

Tabela 2 - Limites de erro permitidos para a corrente.

Corrente A		Corrente B		Corrente C	
Min (A)	Max (A)	Min (A)	Max (A)	Min (A)	Max (A)
0.49973	0.50027	0.49973	0.50027	0.49973	0.50027
0.99945	1.00055	0.99945	1.00055	0.99945	1.00055
1.49918	1.50082	1.49918	1.50082	1.49918	1.50082
1.99891	2.00109	1.99891	2.00109	1.99891	2.00109
2.99835	3.00165	2.99835	3.00165	2.99835	3.00165
3.99780	4.00220	3.99780	4.00220	3.99780	4.00220
4.99726	5.00275	4.99726	5.00275	4.99726	5.00275
5.99671	6.00329	5.99671	6.00329	5.99671	6.00329
6.99616	7.00384	6.99616	7.00384	6.99616	7.00384
7.99561	8.00439	7.99561	8.00439	7.99561	8.00439
8.99506	9.00494	8.99506	9.00494	8.99506	9.00494
9.99451	10.00549	9.99451	10.00549	9.99451	10.00549

As Tabelas 3 e 4 apresentam as medições realizadas por meio do medidor Radian RM-15 considerando os desvios observados no laboratório de calibração de Adrianópolis.

Tabela 3 - Avaliação dos pontos de calibração para a tensão.

Tensão Fase A		Tensão Fase B		Tensão Fase C	
Valor Medido (V)		Valor Medido (V)		Valor Medido (V)	
5.00160	Pass	5.00120	Pass	5.00160	Pass
10.00160	Pass	10.00120	Pass	10.00160	Pass
19.99960	Pass	20.00060	Pass	20.00140	Pass
50.00140	Pass	50.00180	Pass	50.00260	Pass
100.00410	Pass	100.00810	Pass	100.00710	Pass
150.01095	Pass	150.02095	Pass	150.01495	Pass
199.99640	Pass	200.00940	Pass	200.00340	Pass
249.98875	Pass	249.99075	Pass	249.98875	Pass

Essas medidas devem estar dentro dos limites apresentados nas Tabela 1 e Tabela 2. Caso contrário assume-se que o equipamento está fora da calibração.

Tabela 4 - Avaliação dos pontos de calibração para a corrente.

Corrente A		Corrente B		Corrente C	
Valor Medido (A)		Valor Medido (A)		Valor Medido (A)	
0.49980	Pass	0.49980	Pass	0.49980	Pass
0.99980	Pass	0.99980	Pass	0.99980	Pass
1.50040	Pass	1.49960	Pass	1.49940	Pass
2.00056	Pass	2.00076	Pass	1.99936	Pass
2.99906	Pass	2.99906	Pass	2.99886	Pass
3.99940	Pass	3.99880	Pass	3.99880	Pass
4.99900	Pass	4.99900	Pass	4.99920	Pass
5.99880	Pass	5.99900	Pass	5.99880	Pass
7.00061	Pass	7.00061	Pass	6.99841	Pass
8.00060	Pass	8.00020	Pass	8.00060	Pass
8.99436	Fail	8.99636	Pass	9.00096	Pass
10.00120	Pass	10.00140	Pass	10.00120	Pass

De acordo com a Tabela 3, as fontes Fluke 6105A/6106A encontram-se dentro dos limites de calibração de tensão. No entanto, de acordo com a Tabela 4, observou-se que em apenas um ponto de calibração houve a violação dos limites da Tabela 2 (para corrente de 9A somente na fase A). Todos os demais pontos estão dentro da faixa permitida. Deve-se salientar que para os testes em PMUs, o nível de corrente nominal é de 5A, com a variação de 0.75A à 7,5A para alguns testes. Ou seja, o ponto de 9A fora dos limites da Tabela 2 não é utilizado nos testes em PMUs.

8.3 Plataforma para teste de aplicativos

Aperfeiçoamento do código

Foi corrigido um bug de software que resultava na não aceitação pelo PDC do primeiro frame enviado a cada segundo, ou seja, na perda do frame zero. Os frames são numerados de 0 a N-1, e transmitidos a N frames por segundo.

Uma das dificuldades encontradas para o entendimento do problema e para sua correção é que os diagramas de blocos dos VIs (do toolkit de sincrofasores do Labview envolvidos no processo) estão bloqueados nas versões mais recentes do programa, como mostrado na Figura E.

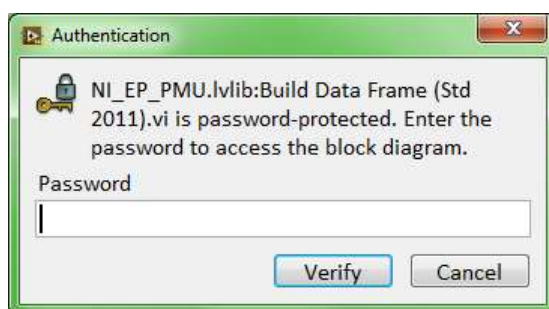


Figura E – Diagrama de blocos de Build Data Frame.vi inacessível.

Foi necessário, portanto recorrer a uma instalação antiga e desbloqueada do Labview (versão 2013) para examinar os detalhes dos códigos dos VIs responsáveis pela criação de cada frame e de sua publicação via TCP (Figuras F e G).

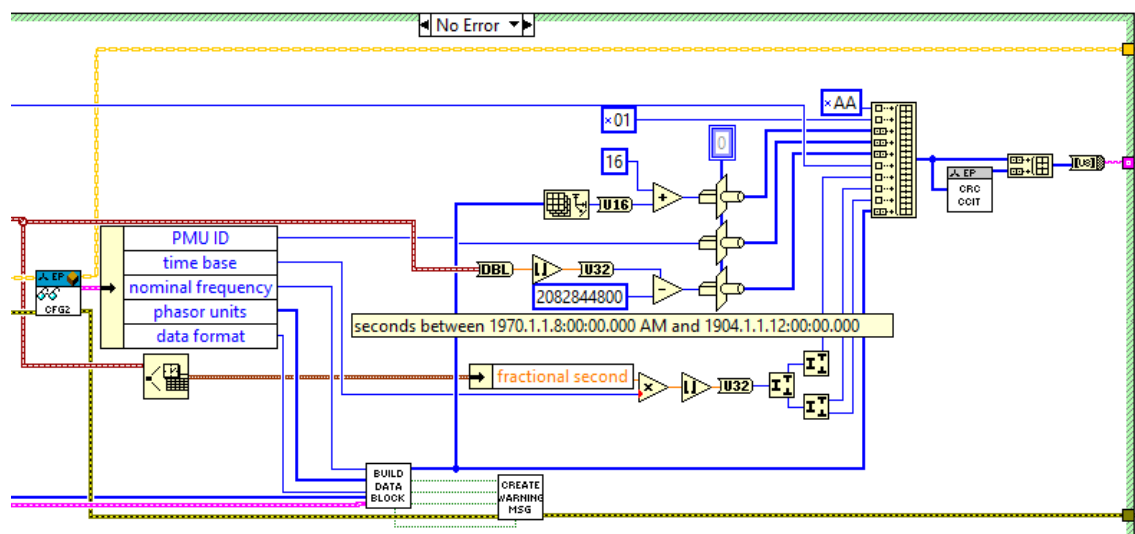


Figura F – Diagrama de blocos de Build Data Frame.vi, Std 2005 acessível.

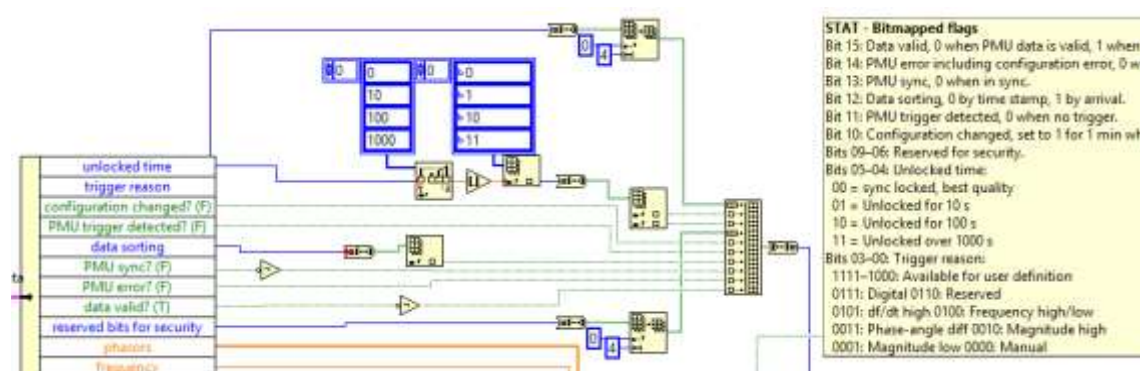


Figura G - Diagrama de blocos de Build Data Block.vi, Std 2005.

Apesar da versão 2013 do Labview satisfazer somente a versão 2005 da norma IEEE C37.118, ainda assim foi possível entender o funcionamento dos VIs mencionados e compatibilizar o nosso código, de forma a eliminar o bug.

Foi corrigido também outro bug que resultava na perda de um frame a cada ensaio (por exemplo: perda de um frame a cada 1200, quando, se usava fps=60 em um ensaio com duração de 20 segundos). A perda acontecia a partir da primeira repetição do ensaio em diante, quando se forçava a repetição do ensaio imediatamente e de forma contínua.

8.4 Exportação de sincrofases

O LabPMU está disponibilizando um sinal sincrofásorial customizado (arbitrário), em atendimento a uma solicitação de pesquisadores do Departamento de Automação de Sistemas (DAS). Ficou acordado que estes sincrofases seriam criados a partir de um caso real do SIN implementado no Anatem, e exportados pela Plataforma em desenvolvimento. Do ponto de vista do PDC receptor do sinal, tudo se passa como se o mesmo estivesse recebendo o sinal de uma PMU em hardware instalada em campo.

Para que o sinal fosse exportado de forma contínua, tornou-se necessária a criação de uma versão executável do código da Plataforma. Essa necessidade decorre do fato de que durante o desenvolvimento de softwares é comum haver travamentos do sistema desenvolvedor (Labview), que resultariam em interrupções da exportação de sincrofasores.

Com um executável dedicado à exportação, o sistema Labview fica liberado para o desenvolvimento, evitando as interferências indesejadas. São evitadas também complicações como: mais de uma instância ativa de VIs com nomes idênticos em projetos ligeiramente diferentes e em uso simultâneo.

8.5 Atendimento dos indicadores de benefícios do referido laboratório

Foram definidos dois indicadores de benefício, a saber:

- 1) Realizar ensaios de referência em equipamentos com função PMU:

O atendimento a este benefício foi de 100%, conforme o relatório dos três primeiros trimestres do ano de 2015.

- 2) Desenvolver ferramenta computacional para geração de dados para concentradores de dados de PMUs empregados na verificação do desempenho de aplicativos computacionais utilizados no monitoramento e controle de sistemas interligados;

O atendimento a este benefício foi de 100%, conforme o relatório do 4º trimestre de 2015.