



Grupo de Estudo de Proteção, Medição, Controle e Automação em Sistemas de Potência-GPC

Influência e Redução de Impactos dos Erros de PMUs e de Redes de Comunicação em Aplicações Sincrofasoriais

JOSE EDUARDO DA ROCHA ALVES JUNIOR(1); JOÃO CÂNCIO COLARES DE OLIVEIRA(1); JULIO CESAR REIS DOS SANTOS(1); WALTER MARTIN HUAMAN CUENCA(1); BRUNO LUIZ DA COSTA FONSECA(1); CESAR JORGE BANDIM(1); TIAGO FERNANDES MORAES(1); ALEX JEAN CASTRO MELO (1), LEONARDO P. ALMEIDA (1), JOSÉ RENATO COZZOLINO (1), LEONARDO NEVES VILELA(2); CEPEL(1); PUC-RJ (2)

RESUMO

As Redes de Medições Sincrofasoriais proveem um nível mais elevado de monitoramento das grandezas do Sistema Elétrico, fornecendo continuamente medidas mais exatas de magnitude de tensão e corrente, além de acrescentar medições angulares com a mesma referência de tempo, cálculos de frequência e de variação da frequência. O Operador Nacional do Sistema (ONS) está implantando o Sistema de Medição Sincronizada de Fasores (SMSF), com a instalação de quase duas centenas de PMUs no Sistema Interligado Nacional (SIN) em sua fase inicial. O Cepel criou o Laboratório de Medição Sincrofasorial (LabPMU) para apoiar a realização de ensaios e pesquisa aplicada visando a análise e desenvolvimento de aplicações dessa tecnologia voltadas à segurança e à flexibilidade da operação do SIN. O escopo deste artigo compreende inicialmente o exame da robustez das aplicações a erros no processo de medição fasorial. Será apresentada, em seguida, uma plataforma de “software” compreendendo vários programas integrados, com o objetivo de verificar, de forma controlada, a eficácia das aplicações sincrofasoriais perante erros nas medições. Um exemplo de exame de aplicação sincrofasorial de análise pós-evento será apresentado demonstrando os limites da sua imunidade a erros no processo de medição.

PALAVRAS-CHAVE

Medição fasorial, PMU, erros de medição, SAGE.

1.0 - INTRODUÇÃO

Os ângulos de fase dos fasores de tensão dos barramentos das redes de energia elétrica sempre foram de especial interesse para os engenheiros de sistemas de potência. É bem conhecido que o fluxo de energia ativo (real) em uma linha de energia está fortemente correlacionado ao seno da diferença de ângulo entre as tensões nos dois terminais da linha. O sistema de medição sincrofasorial foi concebido na década de 80 (1) para aproveitar as vantagens da medição de ângulos, referenciada a sistemas sincronizados por satélite. Atualmente, vários fabricantes oferecem unidades de medição fasorial como um produto comercial e a implantação de PMUs em sistemas de energia está sendo implementada em muitos países ao redor do mundo.

No Brasil, diversas empresas de geração e transmissão de energia elétrica são obrigadas, por procedimentos de rede regulamentados pela ANEEL, a instalar e manter em funcionamento uma rede de medição sincrofasorial para fornecer constantemente dados ao Operador Nacional do Sistema (ONS). Os dados recebidos serão armazenados e usados em tempo real como suporte aos processos de tomada de decisão e na análise pós-eventos.

As aplicações dos sincrofasores podem ser classificadas em duas categorias: aplicações em tempo real e “off-line”. A figura 1 apresenta algumas das aplicações típicas, em função da taxa de amostragem de fasores necessária associada a cada aplicação. O quadro apresentado não é exaustivo e há aplicações não contempladas no mesmo. As aplicações em tempo real requerem dados em tempo real e exigem respostas em segundos ou até frações de segundo após receberem os dados. As aplicações de segurança sistêmica proporcionam maior visibilidade e

conscientização situacional, além de poder apoiar ações de proteção e controle em áreas amplas. As aplicações com a taxa de aquisição equivalente a de sistemas supervisórios destinam-se a melhorar os sistemas de gerenciamento de energia e de forma geral os processos de sistemas “SCADA”.

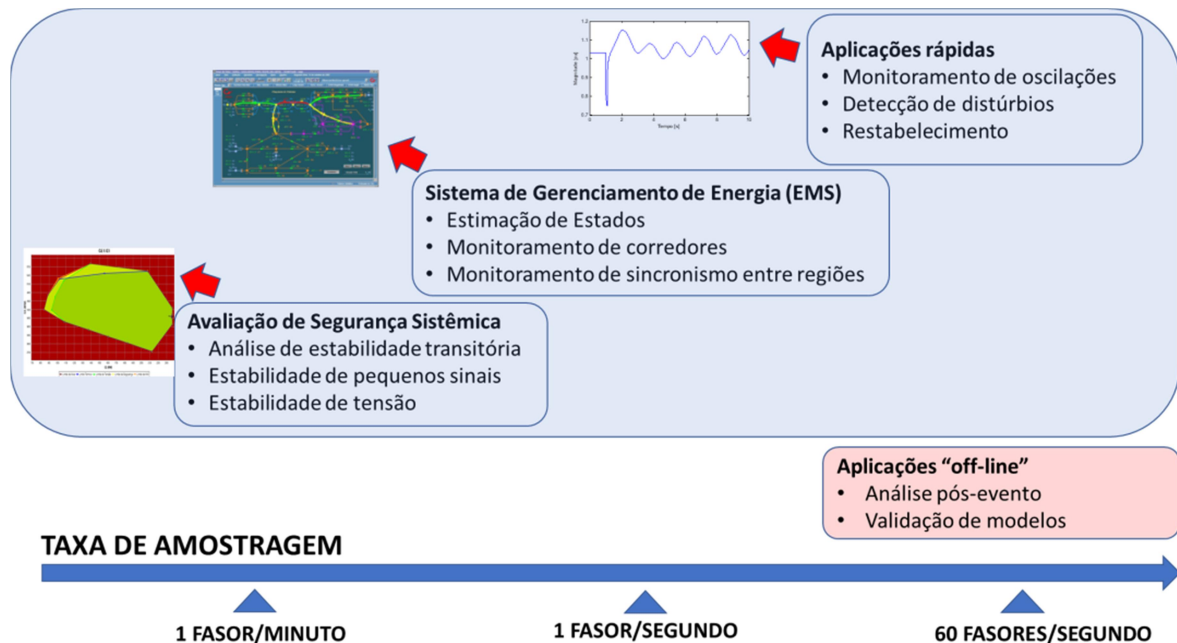


FIGURA 1 – Aplicações típicas de medição sincrofasorial.

As aplicações de cunho mais rápido exigem taxas maiores de amostragem e melhoram as operações em tempo real porque trazem observabilidade para fenômenos antes não detectados pelo operador. As aplicações “off-line” usam dados arquivados e melhoram principalmente a análise e o planejamento dos sistemas de energia, através das análises pós-evento e calibração e validação de modelos dos equipamentos, como parâmetros de máquinas síncronas e de linhas de transmissão.

Os erros das PMUs podem ser desde erros de exatidão da medição até perdas na hora de exportar os dados fasoriais. Um aspecto importante é o relacionamento entre os erros de PMUs e as aplicações. Com relação à literatura destacam-se: o NASPI (North American SynchroPhasor Initiative), em 2018 (2) publicou um documento relacionando os requisitos de dados consistentes e quantificáveis com diferentes aplicativos com o objetivo de verificar a adequação das PMUs para aplicações específicas; a referência (3) dedica especial atenção às questões de exatidão da sincronização de tempo, perda de dados e latência de dados.

Observando-se a literatura, sugere-se o relacionamento apresentado na figura 2, levando-se em consideração alguns critérios: exatidão, baixa latência, taxa de reportagem e também diferenças de medição entre PMUs distintas. Com relação ao correto sincronismo das amostras, considerou-se que para todas as aplicações ele é importante. O tema de comunicações é bastante discutido na literatura (4). Uma das maiores preocupações é a latência desde a fixação de um fasor a uma etiqueta de tempo até a chegada do mesmo para uma aplicação. Some-se a isto a necessidade de uma alta disponibilidade dos dados. De uma forma geral, deve-se sempre tentar redundâncias de forma a se evitar uma perda que provoque erro na aplicação.

Verificou-se no Cepel que as PMUs comerciais de forma geral estão atendendo à Norma IEEE, com relação principalmente à exatidão. Entretanto, foram identificadas particularidades inerentes ao processamento interno de PMUs que deveriam ser estudadas visando a correta interpretação dos sinais medidos, principalmente, os assuntos de não causalidade e medição de frequência e de ROCOF (taxa de variação da frequência) que serão apresentados neste artigo.

Será apresentada também uma plataforma para avaliação de aplicações levando-se em consideração erros provenientes de PMUs e podendo considerar outras fontes de erros, oriundos de comunicação, concentradores de fasores, etc..

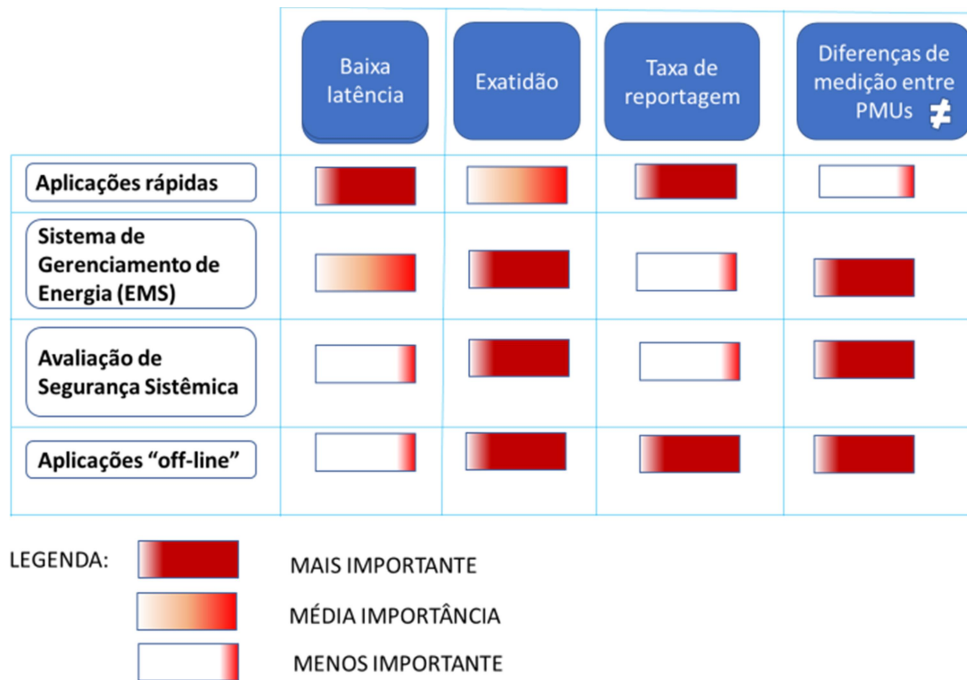


FIGURA 2 – Importância de erros de PMUs para aplicações

2.0 - NORMALIZAÇÃO

Desde o início da aplicação da tecnologia de medição fasorial, houve uma preocupação com a qualidade dos dados das PMUs de forma a garantir a eficácia das aplicações. Em 1991, o IEEE publicou o primeiro padrão para sincrofasores (IEEE Std. 1344-1995). Uma versão revisada do padrão foi publicada em 2005 (IEEE Std. C37.118-2005), onde foi introduzido o critério do erro total do vetor (TVE) como métrica para avaliar os erros de medições sincrofasoriais.

Em 2009 ocorreu no NIST (*National Institute of Standards and Technology*) um abrangente programa de testes onde PMUs de oito fornecedores foram selecionadas e testadas neste projeto, de forma a garantir o desempenho visando a implantação de uma rede de medição sincrofasorial no SIN (Sistema Interligado Nacional). O artigo (5) apresenta e discute as informações básicas gerais, o programa de teste, a seleção da unidade de teste e os processos de teste, e os resultados gerais dos testes.

Em 2011 foi publicada uma nova norma IEEE Std. C37.118-2011 (6), dividida em duas partes. A primeira parte, IEEE Std.118.1-2011.1, trata das medições dos sincrofasores e dos requisitos de desempenho relacionados. Além dos requisitos de regime permanente, ela também introduziu as medições dinâmicas dos sincrofasores e estimativas de frequência e ROCOF, além dos seus requisitos de desempenho. A segunda parte, IEEE Std. C37.118.2-2011.2, é focada na transferência de dados fasoriais, de forma a estimular a interoperabilidade e, portanto, o desenvolvimento e a implantação de sistemas sincrofasores. Em 2014, o IEEE realizou algumas alterações no padrão, resultando no documento IEEE. C37.118.1a-2014 (7). O IEEE e o IEC iniciaram um projeto conjunto para harmonizar o padrão IEEE. C37.118 com o padrão IEC 61850. Como resultado, produziu-se a norma IEC/IEEE 60255-118-1 (8), Measuring relays and protection equipment – 118-1: Synchrophasor for power systems – Measurements. Para minimizar os problemas que uma mudança no padrão teria na indústria, esta norma não introduz mudanças significativas, se atendo mais a simplificações, esclarecimentos e antecipação de desenvolvimentos futuros.

3.0 - FUNCIONAMENTO INTERNO DE PMUS

Em uma unidade de medição fasorial, o sinal de entrada, que pode ser a tensão ou a corrente da barra onde a PMU está instalada, é submetido a transdutores que condicionam o nível do sinal. O sinal de saída dos transdutores é então aplicado à entrada de um filtro passa-baixa cujo objetivo é evitar o efeito de "aliasing". Este sinal então é submetido à entrada de conversores analógico digitais onde é amostrado. A taxa de amostragem é disciplinada pelo sinal de relógio baseado no sistema GPS. O sinal amostrado é aplicado a um filtro digital, que influenciará diretamente a classe à qual a PMU pertence. Foram definidas na norma de 2011 duas classes de PMUs: classe P e classe M. A principal diferença entre os dois tipos está na estrutura do filtro digital utilizado. A norma C37.118.1a-2014 fornece em seu apêndice modelos de referência para os filtros. A principal diferença entre

a classe P e a classe M é que a classe M tem um filtro de ordem maior, implicando numa atenuação muito mais significativa dos sinais, o que implica redução da probabilidade de “aliasing” e melhorará a estimativa de frequência na presença de ruído e sinais interferentes. Por outro lado, esse filtro se reflete como um atraso maior na saída, com relação a uma entrada variante no tempo. Os filtros das PMUs de classe “P” são de menor ordem, o que confere a essas PMUs uma velocidade maior. No entanto, são mais suscetíveis a ruídos.

3.1 Latência

Especificamente, com relação à latência da PMU, apresenta-se na Figura 3 um exemplo de como se produz a latência de uma PMU, no caso com 103ms de latência. A maior parte da latência é devido à metade da janela de filtragem. A etiqueta de tempo é artificialmente antecipada de metade da janela, significando 83ms de latência para este exemplo. Há ainda um processamento interno antes de os fasores serem exportados. Neste exemplo, foi adotado o tempo de 20 ms.

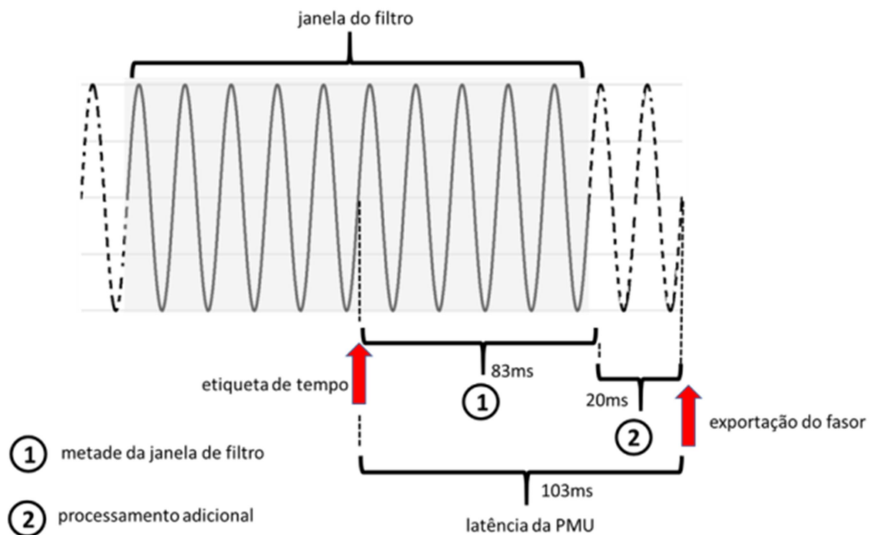


FIGURA 3 – Exemplo de como se produz a latência de uma PMU

Como consequência desta antecipação da etiqueta de tempo exportada, produz-se em até certo grau um efeito de não causalidade demonstrado na figura 4. Este efeito é mais pronunciado em PMUs de classe “M”. Os valores das constantes de tempo são ilustrativos.

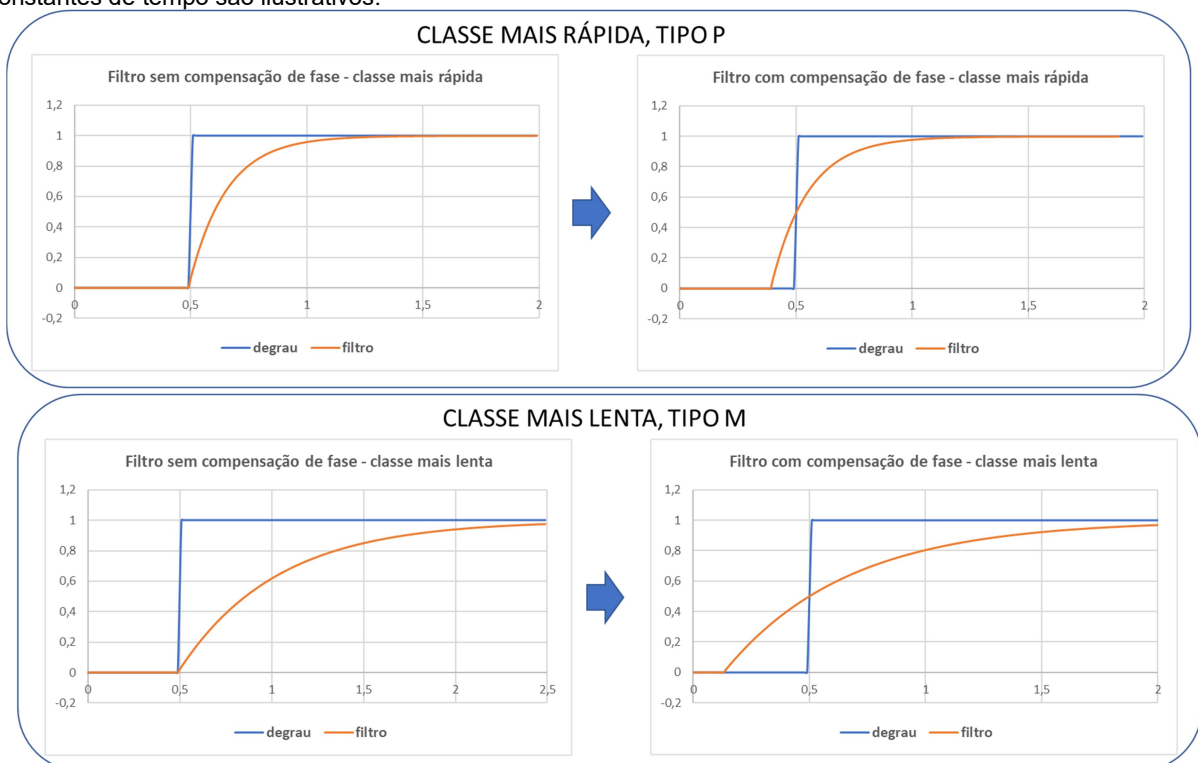


FIGURA 4– Efeito de não causalidade

3.2 Medição de frequência

O cálculo dos sincrofasores é sempre referido à frequência nominal da rede (f_0). Esta variação é então definida como $\Delta f(t)$, e a frequência medida pode ser expressa por

$$f(t) = f_0 + \Delta f(t) \quad (1)$$

Onde: $f(t)$ é a frequência no tempo, f_0 é a frequência nominal e $\Delta f(t)$ é a variação da frequência.

A Norma IEEE (7) sugeriu um algoritmo de estimação de frequência para PMU com base na taxa de variação do ângulo de fase. Foi proposta a seguinte expressão para o cálculo do termo $\Delta f(t)$, para o instante $t=i$:

$$\Delta f(i) = \frac{[\theta(i+1) - \theta(i-1)]}{4\pi} \cdot f_0 \quad (2)$$

Onde: $f(i)$ é a frequência no instante "i" e $\theta(i)$ é o ângulo no instante "i".

Em relação ao cálculo da variação da frequência (ROCOF), foi proposta a expressão a seguir:

$$ROCOF = \frac{[\theta(i+1) + \theta(i-1) - 2 \cdot \theta(i)]}{2\pi} \cdot f_0^2 \quad (3)$$

Onde: ROCOF(i) é a variação da frequência no instante "i".

Em ambos os modelos, o uso dos ângulos de períodos anteriores faz com que a estimação de frequência fique atrasada em relação ao fasor estimado. É possível efetuar o alinhamento no tempo de ambas as medidas a partir do atraso de um período da etiqueta de tempo a qual o fasor é enviado. Deste modo, será utilizado o ângulo obtido em relação ao fasor do período seguinte e, em seguida, computa-se a frequência utilizando o ângulo sucessor e o antecessor do ângulo fasorial atual. Se a taxa de amostragem de cada fasor for muito superior a um ciclo, este atraso praticamente não tem impacto sobre a latência. Contudo, o uso da variação da fase pode produzir sinais de frequência com valores instantâneos significativamente distantes do conceito de frequência como um estado do sistema elétrico em simulação de transitórios eletromecânicos, fato demonstrado neste artigo.

4.0 - PLATAFORMA PARA TESTES DE APLICAÇÕES SINCROFASORIAIS

Foi concebida uma plataforma para testes de aplicações sincrofasoriais, conceitualmente dividida em duas partes, a saber: estudo de eventos eletromecânicos e aplicações relacionadas a PMUs e estudo de eventos eletromagnéticos e sua relevância para PMUs.

4.1 Estudo de eventos eletromecânicos

O programa ANAPMU é uma plataforma de emulação em tempo real de PMUs, destinada a estudar a eficácia de aplicações fasoriais em laboratório antes de serem implementadas em campo. Através da interação com o programa de análise de redes ANAREDE e com o programa de análise de transitórios eletromecânicos ANATEM, são gerados os fasores de casos de estudo do SIN que sejam de interesse para o ensaio do aplicativo sob teste. O ANAPMU faz a conversão dos fasores para sincrofasores e a sua publicação para o PDC, conforme a Norma C37.118.2. Em seguida, a aplicação sob teste é verificada usando-se os casos simulados. A Figura 5 apresenta um esquema da aplicação do programa ANAPMU em conjunto com o programa SAGE-PDC, do Cepel. Do ponto de vista do aplicativo ensaiado tudo se passa da mesma forma que aconteceria quando o mesmo estivesse recebendo o sinal de PMUs reais instaladas em campo. No programa ANAPMU são simuladas não idealidades na comunicação: perda de "frames" e atraso de "frames", etc. e também modificação no conteúdo dos frames: mudança no conteúdo do fasor, mudança na etiqueta de tempo, etc.

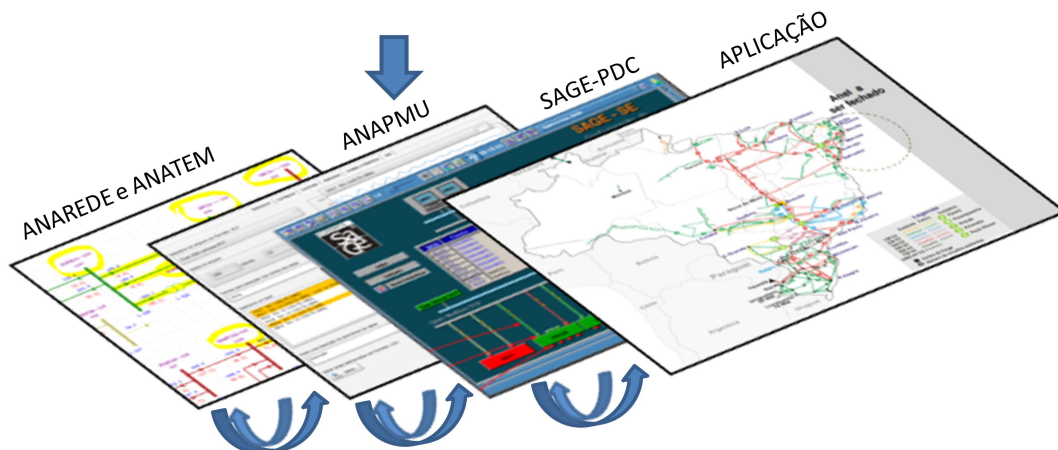


FIGURA 5– Programa ANAPMU visando o teste de aplicações de PMUs no ambiente SAGE-PDC

4.2 Estudo de eventos eletromagnéticos/eletromecânicos

Foi desenvolvida ainda uma plataforma destinada a simulação de eventos eletromagnéticos também para estudar as aplicações fasoriais de forma controlada. A figura a seguir apresenta o diagrama básico desta plataforma. Ela compreende várias possibilidades de simulação, com programas comerciais, simulador em tempo real. Ela inclui também a possibilidade de se usar sinais reais, provenientes de registradores digitais de perturbações. Estes dados podem ser encaminhados para PMUs reais ou pode-se usar PMUs virtuais criadas através de programa de análise matemática.

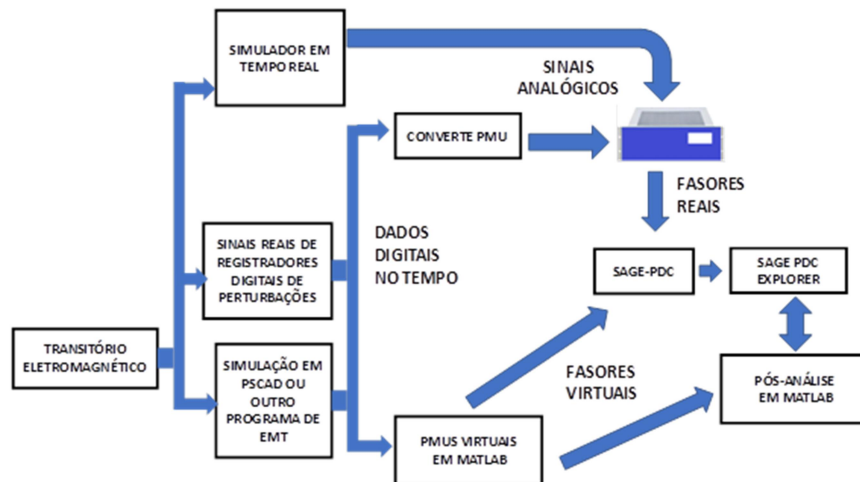


FIGURA 6– Plataforma completa de simulação e análise

4.3 Plataforma SAGE-PDC

Com o propósito de auxiliar a instalação e operação de redes de medição de PMUs, desde 2014 foram incorporados ao SAGE (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia) os recursos necessários para receber, repassar e armazenar dados segundo o protocolo IEEE C37.118.2. O SAGE PDC recebe os dados na taxa de até 120 amostras por segundo e os repassa na mesma taxa com atraso desprezível. Além disso, pode subamostrar os dados e enviá-los através do protocolo ICCP para outro sistema SCADA de um nível hierárquico superior. O SAGE PDC permite também configurar os identificadores dos dados a serem repassados, além de armazenar e utilizar esses dados em aplicações que trabalham com taxas típicas de sistemas supervisórios SCADA e em outras aplicações que necessitam usar os dados na taxa original. Tendo como objetivo facilitar a utilização desses dados no SAGE PDC, estão sendo desenvolvidas aplicações que usam ambientes de programação nas linguagens Python, JavaScript e prototipagem em Matlab. As aplicações estão sendo testadas em um ambiente que utiliza o equipamento de simulação em tempo real, amplificadores e unidades de medição comerciais, conforme ilustra a Figura 7.

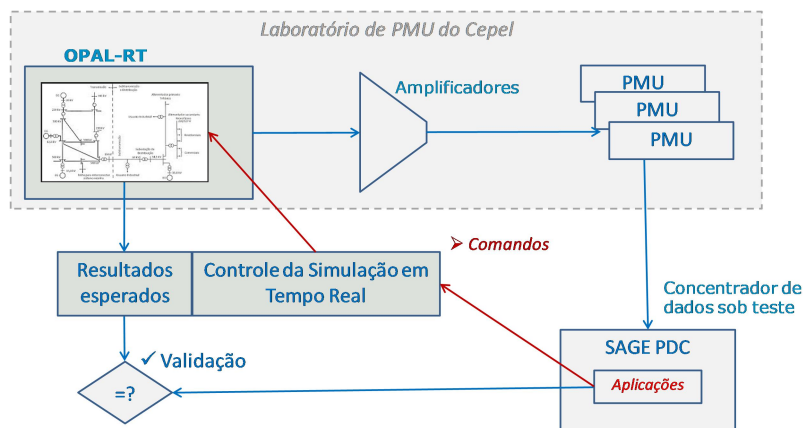


FIGURA 7: Ambiente para testes em aplicações sincrofasoriais em tempo real.

O simulador em tempo real executa a simulação de um circuito e os testes são realizados com a escolha de "pontos de medição" de onde são extraídos os valores simulados e aplicados nas PMUs através do uso de amplificadores de tensão e corrente. Os dados das PMUs são coletados pelo concentrador de dados sincrofasoriais (SAGE PDC) onde são executadas as aplicações a serem testadas. O controle da simulação atua no OPAL-RT executando a série de testes previstos e os resultados fornecidos pelas aplicações são comparados com os valores esperados. Essa estrutura também comporta perfeitamente o teste de aplicações em malha fechada, como aplicações de esquemas especiais de proteção e controle em grandes áreas (WAMPAC).

5.0 - ESTUDO DAS PARTICULARIDADES DE PMUS EM ANÁLISE PÓS-EVENTO

Salvo algumas exceções, as empresas de geração e transmissão brasileiras ainda não estão usando em larga escala as medições sincrofásoriais na análise pós-eventos e no acompanhamento em tempo real da operação do seu sistema. Com o objetivo de auxiliar esta aplicação, foram estudadas duas características de PMUs que devem ser levadas em consideração nesta análise.

5.1 Simulação em simulador de tempo real

Para demonstrar a não causalidade de PMUs, discutida anteriormente no item 3.1 deste trabalho, realizou-se um teste no simulador em tempo real tendo como base o sistema apresentado na figura 8. A simulação consistiu na aplicação de uma falta na barra 8 em $t=0,1$ s; a atuação dos disjuntores ocorreu 4 ciclos após a aplicação da falta e em $t=0,25$ s a falta é removida e os disjuntores religados. Cabe ressaltar que as medições ocorreram na barra 6. Há duas PMUs, uma de classe "M" e outra de classe "P". As figuras 9 e 10 apresentam os resultados desta simulação. Observa-se claramente a não causalidade das PMUs, uma vez que as respostas das mesmas são antecipadas quando comparadas ao resultado da simulação, ou seja, há uma variação na medição da magnitude do fasor antes da ocorrência da falta. Este efeito é mais pronunciado para PMUs de classe "M". Com relação à medição de frequência, apresenta-se o resultado para a simulação já descrita. Observa-se que a frequência possui uma variação significativa durante a falta. Somente após a mesma observa-se uma variação consistente com o esperado de um estado de simulação eletromecânica. A frequência está em vermelho.

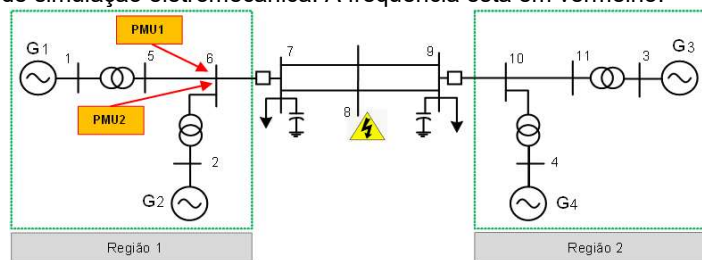


Figura 8: Circuito simulado.

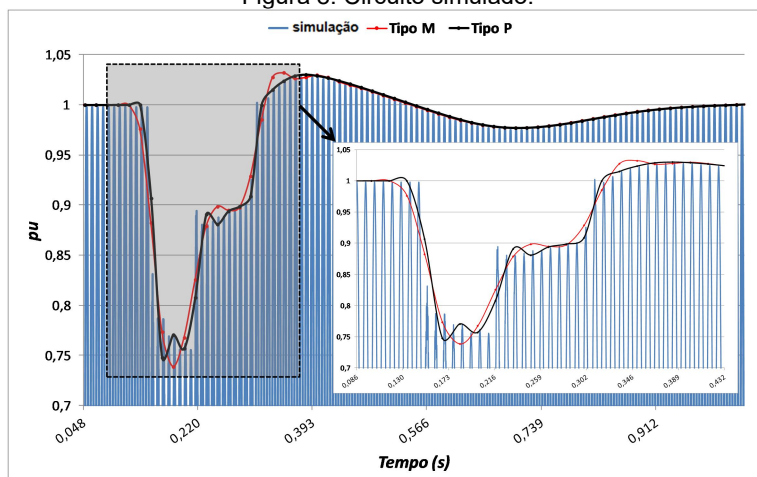


Figura 9 – Resultados: medição da tensão por PMU "M" e "P"

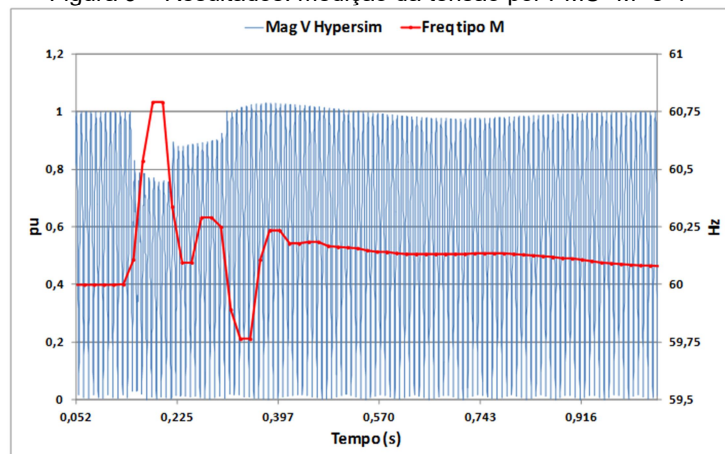


Figura 10 – Resultados: Medição de frequência

5.2 Simulação com programa de simulação de transitórios eletromagnéticos

Realizou-se simulação em programa comercial de simulação de transitórios eletromagnéticos do sistema elétrico brasileiro, conforme a figura a seguir. Realizou-se uma falta monofásica em Imperatriz e foram colocadas PMUs em Imperatriz, Samambaia e Miracema.

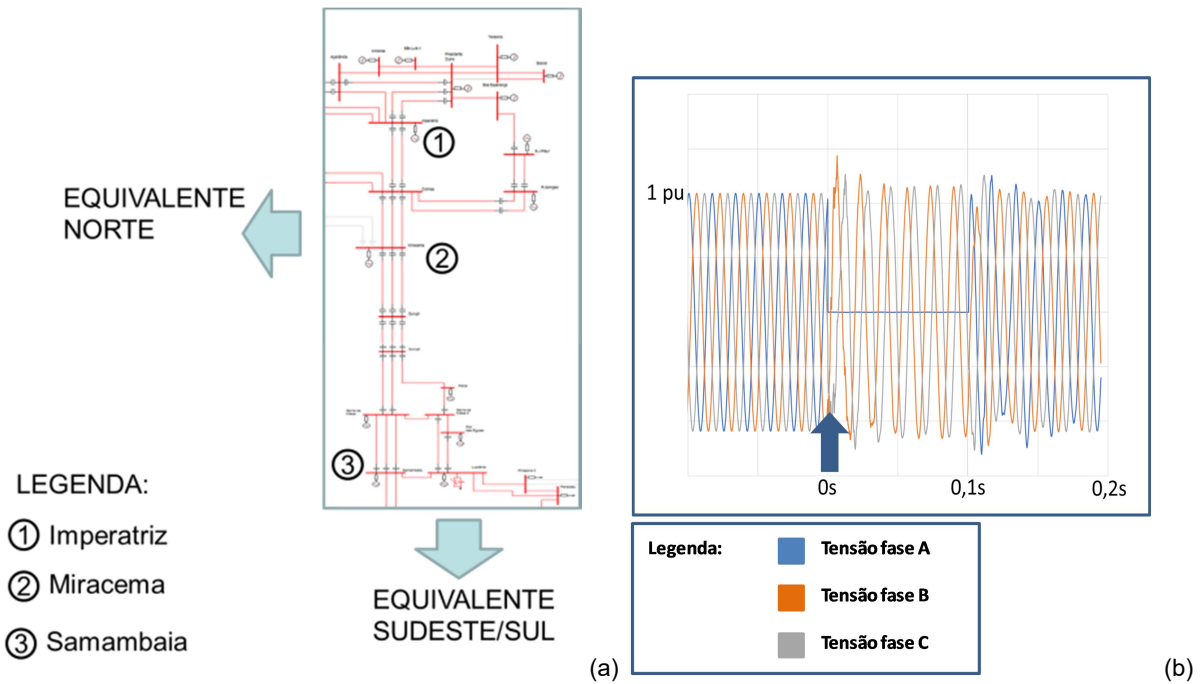


Figura 11: (a) Circuito usado para a simulação; (b) Tensão trifásica em Imperatriz

Os sinais simulados foram submetidos a uma PMU real, localizada virtualmente em Samambaia e verificou-se que o resultado de medição de frequência é muito similar ao de uma PMU virtual tipo "M" com o mesmo sinal de entrada. Ou seja, pode-se antever o comportamento de PMUs no laboratório. Observa-se ainda que a frequência começa a variar antes do tempo 0s, configurando o problema da não causalidade.

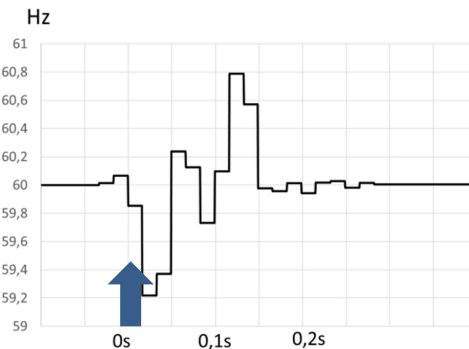


Figura 12: Medição de frequência em Samambaia com PMU real

6.0 - ESTUDO DE INTERPOLAÇÃO E EXTRAPOLAÇÃO PARA ANÁLISE PÓS-EVENTO

Um dos maiores problemas que podem acontecer em comunicações envolvendo dados fasoriais são lacunas onde não há informação recebida. O artigo (9) também aborda este assunto. Foi realizado um estudo preliminar referente à possibilidade de a plataforma de testes aqui apresentada, sob certas condições, realizar interpolação e extrapolação quando houver perda de dados. A conclusão a qual se chegou até o momento é que a perda de dados, dependendo do grau de profundidade, pode inviabilizar a recuperação através de extrapolação de dados. Contudo, sob certas condições é possível uma inferência sobre os dados perdidos, como mostra a Figura 13. Ela apresenta o sinal de tensão baseado em uma simulação de ANATEM, onde se simulou a perda de dados entre 3,3s e 5s. Através de algoritmo dedicado, extrapoliou-se a parte da curva que está faltando. Verifica-se uma diferença entre a curva original e a extrapolada. O algoritmo está sendo aperfeiçoado para contemplar estas diferenças.

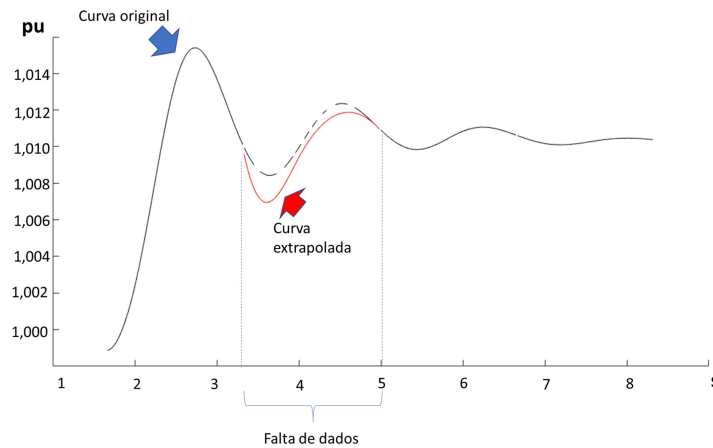


Figura 13: Demonstração de extrapolação de dados.

7.0 - CONCLUSÕES

O artigo apresentou aspectos relevantes dos erros típicos produzidos por unidades de medição sincrofasorial (PMU) e possíveis efeitos relacionados aos resultados de aplicações que usam esses dados. Foi feita uma estratificação sucinta de aplicações práticas desse tipo de medição sob a ótica dos efeitos dos erros e das diferentes taxas de amostragem que podem ser obtidas a partir da taxa original.

Foi apresentada uma breve revisão bibliográfica de publicações que abordam o assunto de erros de medição sincrofasorial, bem como do funcionamento interno dessas unidades visando um melhor entendimento da causa desses erros. Através deste trabalho é possível perceber que a latência e o comportamento dinâmico das medições estão intrinsecamente relacionados à metodologia de cálculo, à filtragem digital e à janela de medição que são utilizadas. Nessa linha, o trabalho contribui também para entender o motivo pelo qual a PMU parece reportar uma variação da grandeza antes dela realmente acontecer (não causalidade) o que será muito importante quando os analistas reunirem os dados de PMU com oscilografias de eventos.

O artigo apresentou também a importância de se dispor de uma plataforma apropriada para testes de aplicações sincrofasoriais nos moldes da que está sendo montada no Cepel, que abrange desde simulações em PMUs virtuais que reproduzem resultados de simulações em programas de transitórios eletromagnéticos, até a montagem de circuitos sintéticos com simuladores em tempo real reproduzindo grandezas com amplificadores e PMUs reais que podem atuar inclusive em loop fechado.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PHADKE, A.G., THORP, J.S., Synchronized Phasor Measurements and Their Applications, , Springer, 2008.
- (2) NASPI, "Categorizing Phasor Measurement Units by Application Data Requirements", 2018.
- (3) CAN HUANG et all, "Data quality issues for synchrophasor applications Part I: a review", J. Mod. Power Syst. Clean Energy 4(3):342–352, 2016.
- (4) Xingzheng Zhu et all, "Optimal PMU-Communication Link Placement for Smart Grid Wide-Area Measurement Systems", TRANSACTIONS ON SMART GRID, julho 2018.
- (5) RUI M. MORAES et all, "PMU Interoperability, Steady-State and Dynamic Performance Tests", IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, VOL. 3, NO. 4, dezembro 2012.
- (6) IEEE, "IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems," IEEE Std C37.118.1-2011.
- (7) IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems -- Amendment 1: Modification of Selected Performance Requirements," in IEEE Std C37.118.1a.
- (8) IEC/IEEE, Measuring relays and protection equipment – Part 118-1: Synchrophasor for power systems – Measurements, IEC/IEEE 60255-118-1, 2018.
- (9) CAN HUANG et all, "Data quality issues for synchrophasor applications Part II: problem formulation and potential solutions, a review", J. Mod. Power Syst. Clean Energy, 4(3):353–361, 2016.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



José Eduardo da Rocha Alves Junior nasceu em Juiz de Fora, MG, Brasil, em 30 de novembro de 1963. Graduou-se em Eng. Elétrica pela UFRJ (1987), mestre em Eng. Elétrica pela COPPE-UFRJ (1991), doutor em Eng. Elétrica pela COPPE-UFRJ (1999). Professor na Universidade Federal Fluminense desde 1991. Pesquisador pelo Cepel desde 1994. Áreas de atuação: Eletrônica de Potência, Medição de Energia e Medição Fasorial Sincronizada (PMU). Senior Member do IEEE e membro da CIGRÉ.



João Câncio Colares de Oliveira formou-se em Engenharia Eletrônica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1983, concluindo o mestrado (M.Sc.) em 1988 pela COPPE/UFRJ. Atualmente é pesquisador no CEPEL, tendo-se envolvido no desenvolvimento de programas de computador para apoiar a análise de perturbações e medições sincrofásoriais no sistema de potência.



Julio Cesar Reis dos Santos formou-se em Engenharia Elétrica/Eletrotécnica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1984. Atualmente é pesquisador no CEPEL, tendo-se envolvido no desenvolvimento de programas de computador visando a medições sincrofásoriais no sistema de potência.



Walter Martin Huaman Cuenca possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidad Nacional del Callao, Lima-Peru (1994), Mestrado (1998) e Doutorado (2005) em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ. Trabalhou na equipe do desenvolvimento do DianE/RCM, baseadas na confiabilidade e a teoria da evidência DTS, para auxiliar o gerenciamento e manutenção de ativos em sistemas de energia elétrica. Atualmente é engenheiro pesquisador do CEPEL/DAS, trabalha na área de supervisão, controle, proteção e automação de sistemas de grande porte. Pesquisa de simuladores inteligentes para operadores OTS e aplicações da medição fasorial.



Bruno Luiz da Costa Fonseca - Graduado em Engenharia Elétrica em 2009 pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Mestre em Engenharia Elétrica no PEE/COPPE/UFRJ em 2014 e Pesquisador do CEPEL na área de Supervisão e Controle de Sistemas de Potência desde 2014. Desenvolve aplicações de Análise de Redes e Automação de Processos no SAGE desde 2009.



Cesar J. Bandim possui graduação em Engenharia Eletrônica (1988) e mestrado em Engenharia Elétrica (1991) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. É pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel desde 1989, atuando nos seguintes temas: medição de energia elétrica, desenvolvimento de soluções para redução de perdas elétricas, medição sincrofásorial e redes elétricas inteligentes. Participa do comitê técnico CE-003:013.001 para modificação/elaboração de normas técnicas ABNT relacionadas a medidores de energia elétrica e de grupos de trabalho a convite do Inmetro.



Tiago Fernandes Moraes, Nascido no Rio de Janeiro em 1988, é graduado e obteve seu Mestrado como engenheiro eletrônico pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ em 2011 e 2014, respectivamente. Trabalha no CEPEL desde 2015, onde atualmente atua como Pesquisador. Suas principais áreas de interesse são qualidade de energia elétrica e medição fasorial sincronizada.



Alex Jean De Castro Mello, Nascido no Rio de Janeiro em 1965, é graduado como engenheiro eletrônico em 1990 pelas Faculdades Nuno Lisboa. Obteve seu mestrado no ano de 2000 em engenharia elétrica, com ênfase em eletrônica de potência, na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Trabalha no CEPEL desde 1984, onde atualmente atua como Pesquisador. Suas principais áreas de interesse são qualidade de energia e aplicações de eletrônica de potência.



Leonardo Pinto de Almeida graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFRJ em 2000, obteve o título de Mestre na área de Sistemas de Potência na COPPE/UFRJ. Desde 2002 é pesquisador no Departamento de Redes Elétricas do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, onde desempenha atividades relacionadas ao planejamento e operação de sistemas de transmissão de energia. É membro do Comitê de Estudos B4 (CCAT e Eletrônica de Potência) do Cigré-Brasil. Suas principais áreas de interesse são: Transmissão CCAT, Equipamentos FACTS, Controle aplicado à Sistemas de Potência e Estudos de Transitórios Eletromagnéticos e Eletromecânicos.



José Renato Cozzolino - Engenheiro Eletricista formado pela UFF em 2012, Mestre em Engenharia Elétrica e Telecomunicações pela UFF em 2016 na área de medição sincrofásorial. Atualmente é Doutorando na área de Sistemas Elétricos pela COPPE e bolsista pelo Cepel. Sua área de interesse é processamento de sinais e medições sincronizadas.



Leonardo Neves Vilela, nascido no Rio de Janeiro em 1981, é graduado como engenheiro eletricista em 2019 pela Universidade Veiga de Almeida. Também graduado como técnico em eletrônica pelo colégio 1º de Maio em 2000. Trabalha na PUC - RJ desde 2009 como Especialista colaborando com o CEPEL no desenvolvimento de projetos ligados à área de qualidade de energia. Suas principais áreas de interesse são: unidades de medição fasorial sincronizada e qualidade de energia elétrica.