XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

CB/GTL/20

GRUPO - XV
GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

REDE DE COMUNICAÇÕES PARA SISTEMA DE MEDIÇÃO SINCRONIZADA DE FASORES EM FURNAS

Guilherme Preger (*)
FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS

LUCAS VERNOT AMARAL
FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS

RESUMO

Este documento apresenta o projeto de modernização da Rede de Comunicações de FURNAS para o atendimento do Sistema de Medição Sincronizada Fasorial (SMSF) através de solicitação do Operador Nacional do Sistema (ONS/Brasil) responsável pela coleta de dados das Unidades de Medição de Fasores (PMU) a partir das Redes de Sincrofasores dos Agentes. O sistema prevê uma única rede de dados, englobando todos os agentes brasileiros que enviarão em caráter contínuo as informações de suas PMU até dois pontos de concentração de dados do ONS. O presente trabalho apresenta as modernizações necessárias para atender aos requisitos mínimos do projeto no que concernem à confiabilidade, à disponibilidade e à capacidade de processamento de dados. Por ser um projeto em andamento, o artigo não contempla resultados práticos, mas apenas dados de planejamento, projeto e desenho de rede.

PALAVRAS-CHAVE

Sistema de Medição Fasorial, PMU, Sincronismo

1.0 - INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os desafios de modernização da Rede de Comunicações de Furnas para o atendimento ao Sistema de Medição Sincronizada Fasorial. O Sistema de Medição Sincronizada Fasorial (SMSF) é o Sistema do Operador Nacional do Sistema (ONS/Brasil) responsável pela coleta de dados das Unidades de Medição de Fasores (PMU) a partir das Redes de Sincrofasores dos Agentes. O sistema prevê uma única rede de dados, englobando todos os agentes que enviarão espontaneamente (sem solicitação) e em caráter contínuo as informações de suas PMU até dois pontos de concentração de dados do ONS, localizados no Rio de Janeiro e em Brasília. Os requisitos deste sistema foram especificados na Nota Técnica “Requisitos mínimos para unidades de medição de fasores (PMU) e rede de sincrofasores do agente” (NT 115/2014, revisão maio de 2016). Por sua vez, as Unidades de Medição de Fasores seguem as normas da especificação IEEE C37.118.

FURNAS, como agente, terá 53 PMU instaladas em 11 subestações de sua planta industrial. O projeto deverá estar implantado até o fim de 2018. Os desafios da adequação da Rede de Comunicações para receber esse grande número de unidades se referem a duas questões prioritárias: adaptar a Rede Operativa IP aos critérios de confiabilidade exigidos pelos requisitos e definir um sistema de sincronismo com a exatidão e a confiabilidade requisitadas.

Os requisitos básicos para as redes de comunicações dos agentes podem ser sintetizados em três exigências mínimas: Service Level Agreement (SLA) de 99,98%, Idade do dado (retardo máximo) de 500 mseg e Total Vector

(*) Rua Real Grandeza, n° 219 – sala 308 - Bloco B – CEP 22281-900 Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel: (+55 21) 2528-4739 – Fax: (+55 21) 2528-4739 – Email: preger@furnas.com.br

Error de 1%, o que acarreta uma exatidão de sincronismo de no máximo 26 µs. A primeira exigência mira a confiabilidade dos canais de comunicação com a exigência de rotas redundantes. A segunda, mira a disponibilidade de banda e a agilidade de processamento da rede em encaminhar as informações aos concentradores de destino. A terceira diz respeito à qualidade do sistema de sincronismo.

Para atender a essas três exigências foi realizado em FURNAS um estudo técnico em sua Diretoria de Engenharia para a escolha de arquitetura do sistema, para análise e aprimoramento da Rede Operativa de dados e para a modernização do sistema de sincronismo. Assim, foi definida uma arquitetura de concentradores (PDC), elementos estes que realizarão também o armazenamento e a análise dos dados para interesses de FURNAS, uma revisão das rotas de contingência e da expansão do sistema de transmissão de telecomunicações para garantia de banda, um projeto de introdução de qualidade de serviço (QoS) na Rede Operativa de dados, uma topologia de relógios confiáveis de sincronismo para garantir a redundância desse serviço com uma análise dos protocolos de sincronismo adequados para essa solução.

Outra questão pertinente a ser debatida é a mudança de perfil da Rede Operativa de dados de Furnas. Inicialmente pensada como uma rede agregadora de redes locais (LAN) operativas, agora seu perfil é deslocado para uma rede de área ampla (WAN) o que acarreta mudanças em sua forma de atuação. Além disso, a Rede Operativa, considerada como interna à empresa, passa a ser uma rede de interligação com um parceiro externo, no caso o ONS. Atualmente, as redes de interligação com o Operador tem uma estrutura exclusiva.

O presente trabalho apresenta a descrição dos estudos realizados para subsidiar a escolha das soluções mencionadas. Como o sistema só deverá ser implantado ao final de 2018, não há ainda resultados práticos, no entanto, serão apresentados os resultados dos estudos que incluem análise de banda com Unidades de Medição já presentes na planta de Furnas, discussão sobre protocolos de rede, tais como TCP e UDP, ou uso de encaminhamento unicast ou multicast, e seus impactos sobre a performance da rede, estudos de alternativa de protocolos de sincronismo, com testes realizados com fabricantes e medidas de confiabilidade do sistema, análise de topologia de concentradores (PDC). Finalmente, o trabalho apresenta a topologia definitiva da rede que é importante como modelo de caso, já que há poucas redes de fasores implantadas em todo o mundo com essa abrangência, de caráter nacional e integrado.

2.0 - DESCRIÇÃO

2.1 Requisitos

O SMSF é um sistema de medição de fasores, ou da diferença angular de tensão e corrente, que pode ser utilizado para aplicações de Proteção, Controle e Supervisão de Área Ampla (WAMPAC).

A medição fasorial é a medida da diferença angular entre valores vetoriais de tensão ou corrente em relação a um valor de referencia, conforme ilustrado pela Fig.1.

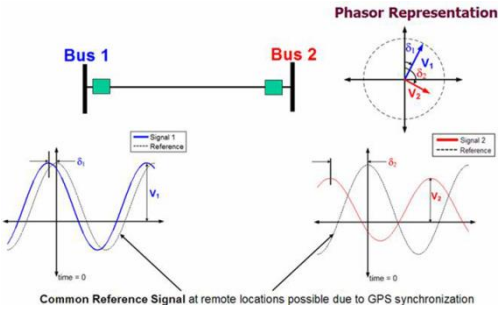

FIGURA1. Medição fasorial

Em Furnas serão instaladas Unidades de Medição Fasorial (PMU) nas subestações de 765 kV e 500 kV. Serão 11 subestações e 53 unidades.

Os requisitos de projeto foram estabelecidos pelo ONS através da Nota 115/2014 (revisão maio de 2016) e do Submódulo 11.8. O projeto também deve atender a Norma IEEE C37.188_1 (2014) e C37.188_2 (2015).
O ONS estabeleceu que os agentes deverão prover todos os circuitos de telecomunicação necessários para disponibilizar as medições sincrofasoriais realizadas pelas PMU aos concentradores de dados no ONS, instalados no Rio de janeiro e Brasília. Os dados deverão ser entregues em modo espontâneo (sem solicitação por parte do ONS), porém poderão ser utilizados pelos agentes para seu próprio uso, desde que respeitados os requisitos e que não haja tratamento dos dados.

Do ponto de vista da rede de telecomunicações, os requisitos a serem atendidos são os seguintes:

- Precisão de sincronismo de 26µs (para TVE – Total Vector Error de 1%);
- SLA de 99,98% (considerando-se os dois pontos de entrega combinados);
- Idade do dado (da medição à entrega) de 500 mseg.

O Erro Total de Vetor (TVE) é a tolerancia máxima de diferença angular do vetor de fase para uma determinada medida ser confiável ou a diferença entre o valor do fasor verdadeiro e aquela calculada pela PMU. O erro de 1% conduz a uma diferença de 0,573º e a um erro de amostra de sincronismo máximo de 26µs, conforme ilustrado na Fig. 2.

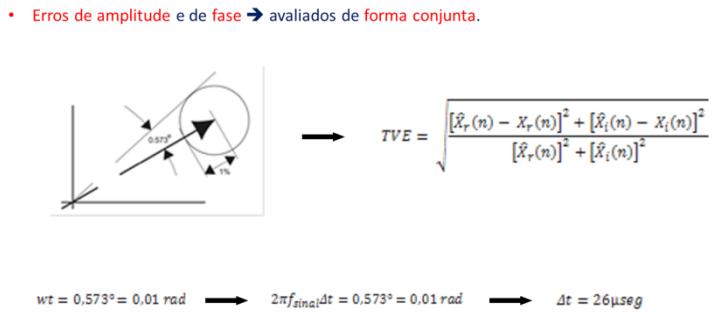

FIGURA 2: Cálculo do TVE

2.2 Topologia

A Norma IEEE C37.188 propõe uma topologia em que cada PMU envia seus dados obtidos (fasores) para concentradores de dados. Esses podem ser locais (subestações), regionais (centros operativos) ou nacionais (operadores). A Fig. 3 ilustra a recomendação.

Furnas deverá encaminar os dados através de sua Rede Operativa (RO). Esta é uma rede interna dedicada a dar suporte a dados operativos. A topologia selecionada de Furnas deverá ser de um direcionamento dos dados dos PMU para Concentradores (PDC-Phase Data Concentrator), localizados nos pontos de concentração (núcleo) de sua Rede Operativa. Os concentradores nesses pontos deverão armazenar os dados para uso interno da empresa e então imediatamente (sem introdução de retardo) enviar os dados, sem tratamento (sem alteração ou aglutinamento) para os dois núcleos de recepção do ONS: Rio de Janeiro e Brasília e para o Concentrador final da empresa, localizado em seu Escritorio Central (Fig.4).

A decisão de colocar os Concentradores de dados (PDC) nos núcleos de sua rede operativa baseou-se na necessidade de otimizar a banda conforme a topologia específica de seu sistema de transmissão. De acordo com a estimativa de tráfego fornecida pela própria nota técnica do ONS, a taxa de dados média de cada PMU para uma amostra de 60 fasores é de 72 kbit/s [1].

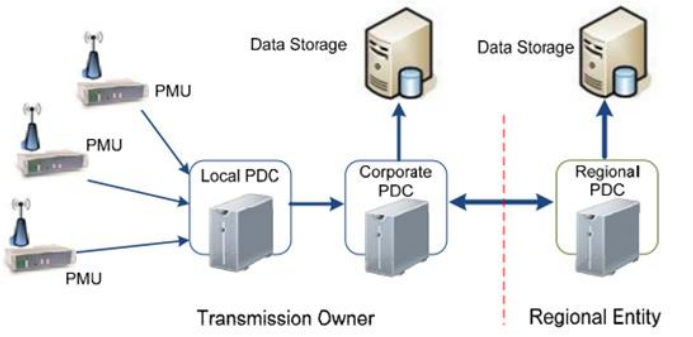

FIGURA 3: Topologia recomendada pela Norma C37.118

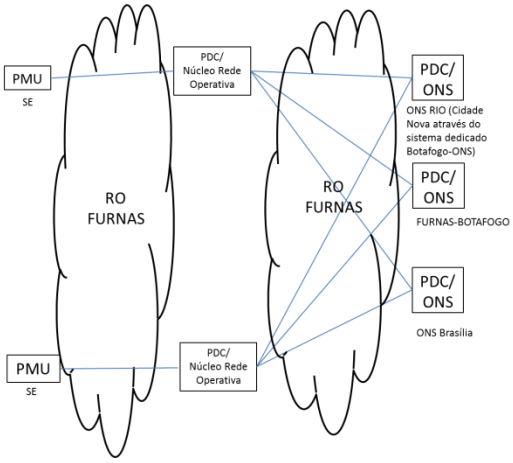

FIGURA 4: Topologia de Furnas para atendimento ao SMSF

2.3 Projeção de tráfego

A grande quantidade de PMU e a taxa estimada de banda de 72 kbit/s por PMU obrigaram à Engenharia de Furnas um cálculo de banda levando-se em conta a topologia de seu sistema de transmissão e a topologia do SMSF (Fig. 4). A Tabela I ilustra a expansão de banda necessária para atender ao sistema a partir de seus pontos de coleta de dados. O cálculo leva em questão não apenas o somatório do tráfego de diferentes medições que se acumulam em certos trechos do sistema no encaminhamento ao destino, a necessidade de redundancia de banda, na ocorrência de redirecionamento de tráfego por rotas alternativas, bem como a importância de não se ocupar a banda totalmente para deixar espaço de banda a outros sistemas. O aumento estimado de ocupação de banda pode chegar a valores muito altos da banda atualmente fornecida em certos trechos.

Para atender a esse expressivo aumento de banda, não será necessária uma expansão do sistema de transmissão, porém haverá necessidade de um alargamento de banda especificamente destinada para o entroncamento de interface da camada WAN de sua Rede Operativa. Em geral, a Rede Operativa de Furnas atende localmente às subestações com uma LAN de 1G/100Mbit/s, porém há um grande estreitamento de banda na camada WAN. Ao contrário da Rede LAN, a Rede WAN possui limitação de banda devido às suas interfaces de saída. A razão disso é que a maioria do tráfego desta rede tem características locais. Entretanto, o SMSF será um novo serviço que possui uma demanda de tráfego WAN considerável. Trata-se de uma característica nova a ser enfrentada pela Rede Operativa de Furnas.

Em função dessa característica inovadora, na Rede Operativa, será adotada a técnica de Qualidade de Serviço (QoS) e do filtro de priorização para garantir o encaminhamento do serviço. A justificativa para esta adoção se deve ao fato de ser um serviço com fluxo de dados contínuo, em tempo real, 24 horas x 7 dias, com critérios elevados de disponibilidade (99,98%) e que trafegará na Rede WAN. Como mencionado, a rede WAN costuma ter um estreitamento de banda. Por essa razão, o tráfego de dados fasoriais não pode sofrer competição de banda com serviços não prioritários e de fluxo não contínuos, como por exemplo um ftp de arquivos, como costuma ocorrer. No entanto, a Qualidade de Serviço não está implementada ainda na Rede Operativa, sendo essa introdução um elemento a favor da modernização da rede.

Outra questão innovadora para a Rede Operativa de Dados é a necessidade de trabalhar com parceiros externos, no caso o ONS. Normalmente, essa rede é pensada para atender a necesidades exclusivas do Agente. Com a necessidade de enviar os dados para os parceiros, uma estrutura de isolamento lógico através de firewalls precisa ser incluída. Também será utilizada uma interface de saída exclusiva no roteador de borda como determina o Submódulo 11.8 (ítem 6.2.6.3) [5]. Será utilizada a própria rede exclusiva de interconexão que atualmente já compartilha dados do SAGE com o ONS, no entanto, a interconexão entre as redes do SMSF e do SAGE será mediada por um firewall.

É importante, igualmente, observar que os dados do SMSF, isto é, as medições dos fasores, têm fluxo unilateral, unicast, indo do Agente para o Operador, ou conforme a norma, do servidor (PMU) para o cliente (PDC), não havendo o tráfego em sentido inverso. Por isso, para compatibilizar com a Norma C37.118, que prevê 4 tipos de tráfego (TCP-only, UDP-only, TCP/UDP, Espontâneo) [2 Anexo F], apenas o modo Espontâneo está apto para para trafegar sem solicitação do Operador.

Tabela 2 –Projeção de tráfego de dados em FURNAS para o SMSF

SUBESTAÇÃO		
MENOR INTERFACE DA SE	OCUPAÇÃO MAX PREVISTA	DESCRIÇÃO
INTERFACE SE01B	172%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 4 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL
INTERFACE SE02B	89%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 2 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL
INTERFACE SE03B	199%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 4 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL
INTERFACE SE04B	877%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 20 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL
INTERFACE SE05B	118%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 10 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL
INTERFACE SE06B	0%	NENHUMA
INTERFACE SE07B	31%	NENHUMA
INTERFACE SE08B	24%	OBSERVAR LINHA 36
INTERFACE SE09B	30%	NENHUMA
INTERFACE SE10B	107%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 2 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL
INTERFACE SE11B	105%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 2 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL

NÚCLEO DA REDE OPERATIVA			
MENOR INTERFACE DA SE	INCOMING OCUPAÇÃO MAX PREVISTA	OUTGOING OCUPAÇÃO MAX PREVISTA	DESCRIÇÃO
INTERFACE N01B	132%	126%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 3 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL
INTERFACE N02B	178%	139%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 3 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL
INTERFACE N03B	126%	135%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 3 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL
INTERFACE N04B	106%	53%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 3 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL
INTERFACE N05B	130%	137%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 3 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL

CENTROS DE OPERAÇÃO			
MENOR INTERFACE DA SE	INCOMING OCUPAÇÃO MAX PREVISTA	OUTGOING OCUPAÇÃO MAX PREVISTA	DESCRIÇÃO
INTERFACE C01B	85%	42%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 2 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL
INTERFACE C02B	373%	200%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 5 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL
INTERFACE C03B	164%	121%	AMPLIAÇÃO DA MENOR INTERFACE EM 3 VEZES DA CAPACIDADE ATUAL

2.4 Rede de sincronismo

O problema do sincronismo é a questão crucial para o sucesso do projeto do SMSF, já que a medição sincronizada dos fasores é a questão mais crítica de um sistema de área ampla que envolve subestações distribuídas geograficamente em regiões distantes. As medidas fasoriais levantadas em todos os agentes precisam estar precisamente sincronizadas, isto é, as amostras das fases precisam ter a mesma estampa de tempo. Um "escorregamento" superior a 26µs compromete a confiabilidade da amostra. Este escorregamento máximo é um requisito das Normas IEEE C37.118_1 e C37.118_2 que especificam as características do sistema de medição fasorial e das PMU. Conforme o item 4.5, dessa especificação:

"Synchrophasor measurements shall be synchronized to UTC time with accuracy sufficient to meet the accuracy requirements of IEEE Std C37.118.1. A phase error of 0.01 radian (0.57 degrees) in the synchrophasor measurement will cause 1% total vector error (TVE), which is the maximum steady-state error allowed in IEEE Std C37.118.1. A 0.01 radian phase error corresponds to a time error of ±26 µs for a 60 Hz system, and ±31 µs for a 50 Hz system". [2]

"The system shall be capable of receiving time from a highly reliable source, such as the Global Positioning System (GPS), which can provide sufficient time accuracy to keep the TVE within the required limits and provide indication of loss of synchronization. The flag in the data output (6.3, Table 6, STAT word Bit 13) is provided to indicate a loss of time synchronization and shall be set to 1 when loss of synchronization could cause the TVE to exceed the limit or within 1 min of actual loss of synchronization, whichever is less. The flag shall remain set until data acquisition is resynchronized to the required accuracy level. [2]

Além da precisão de 26µs, a Norma exige que as unidades PMU recebam o marcador de qualidade do sinal, denominado Time Quality Flag, conforme menciona o referido item 6.2.1 da referida norma:

"All message frames start with a 2-byte SYNC word followed by a 2-byte FRAMESIZE word, a 2-byte IDCODE, a time stamp consisting of a 4-byte second-of-century (SOC) and 4-byte FRACSEC, which includes a 24-bit FRACSEC integer and an 8-bit Time Quality flag described in 6.2.2"[2].

Esta exigencia de um marcador de qualidade é uma exigencia do novo sistema que impacta os atuais sistemas dedicados de sincronismo pois em geral os sistemas SCADA e os IED existentes não exigem tal marcador. O marcador é importante, pois informa aos Concentradores o nível de confiabilidade da amostra transmitida. O atendimento ao requisito da transmissão da indicação de qualidade de sincronismo introduz uma complexidade maior à rede de sincronismo, uma vez que muitos protocolos de sincronismo não fornecem este marcador. O IRIG-B, que é um protocolo de distribuição do sinal de sincronismo para subestações por meio de cabeamento elétrico ou óptico, apenas em sua versão extended tem atendida essa característica. Ainda, poucos equipamentos de sincronismo com o protocolo IRIGB fornecem também sua versão extended.

Além da exigencia do marcador, há também a exigência para atendimento à disponibilidade de 99,98% (índice SLA – Service Level Agreement), o que equivale a uma indisponibilidade de aproximadamente 1 hora e 45 minutos ao ano. Esta exigencia diz respeito à necessidade de redundância que está ligada à necessidade de precisão. O SMSF é atendido pelo sistema GPS que fornece um sinal de sincronismo com excelente nível de precisão, já que distribui o sinal de sincronismo de um relógio de alta qualidade (césio). No entanto, é um sinal que pode sofrer de problemas de sinais por várias condições: problemas atmosféricos, problemas do próprio sistema do satélite, problemas do sistema de recepção e outros. Quando há uma falha na recepção do sinal do sistema GPS, o sincronismo migra para o relógio local que comumente é baseado em relógios de menor qualidade.

Na Tabela 2, apresenta-se uma relação de relógios com seus diferentes níveis de precisão (accuracy), dos tempos máximos de holdover e o tempo necessário para manter a precisão desejada, assim como a presença do marcador de qualidade de tempo. A variação de temperatura é um fator muito importante em relação à oscilação do quartzo de cristal, pois ela altera a frequência de base e causa uma oscilação até atingir novamente a estabilidade. Nesta tabela estão apresentados dos dados para três tipos de relógio: de rubidio, e relógios de quartzo OCXO (maior qualidade) e TCXO (menor qualidade). Na última coluna, está o tempo de holdover, ou seja, o período de tempo em que o relógio se sustenta apenas com oscilação própria para um escorregamento máximo de 26 microssegundos.

Tabela 3 –Tipos de relógios e tempos de holdover

				LOCKED			FREE RUN		
				CLOCK	PPS	TIME	TIME		C 37.118
MODEL	Type	Suport IRIG-B Extensão C37.118	Cost	Freq. Stability	Accuracy of PPS	Accuracy of Time	Accuracy of Time free run, one day (microsecs)	Accuracy of Time free run, one year (microsecs)	Hours to achieve accuracy of +/- 26 microsecs
A	Rubidium	IEEE1344-1995	$$$	1x10^(-12)	1x10^(-12)	±30ns RMS to UTC	1.66µs	0,6ms	375:54:13
	OCXO		$$	1x10^(-12)	1x10^(-12)	±30ns RMS to UTC	0,5ms	182,5ms	1:14:53
B	Rubidium	YES	$$$			±50ns RMS to UTC	10µs		62:24:00
C	TCXO	YES	$	1x10^(-9)	1x10^(-12)	<100ns to UTC	0,55ms	200s	1:08:04
	OCXO		$$	±1.0×10^(-9)	±50 ns to UTC	<100ns to UTC	15µs	10µs	41:36:00
D	Rubidium	NO	$$$	<0.01ppb	1x10^(-12)	<100ns to UTC	10µs	3.65ms	62:24:00
E	Rubidium	NO	$$$	<0.01ppb	1x10^(-12)	<100ns to UTC	2µs	0,73ms	312:00:00
	OCXO		$$	<0.01ppb	1x10^(-12)	<100ns to UTC	0,2ms	73ms	3:07:12
F	Rubidium	IEEE1344-1995	$$$	1x10^(-12)	1x10^(-12)	=100ns to UTC	3,33µs	1,21ms	187:23:15
	OCXO		$$						
G	Rubidium	IEEE1344-1995	$$$						
	OCXO		$$	1x10^(-12)	1x10^(-12)	=100ns to UTC	0,1ms	36,5ms	6:14:24
H	TCXO	YES	$		±40 ns to UTC		315 µs (Temp. CTE)		1:58:51
							36 µs (±1°C)		17:20:00
	OCXO		$$		±40 ns to UTC		5µs		124:48:00
I	Rubidium	NO	$$$	<0.01ppb	1x10^(-12)	<100ns to UTC	8µs	3.2ms	78:00:00
	OCXO		$$	<0.01ppb	1x10^(-12)	<100ns to UTC	0.53ms	194.66ms	1:10:38

A Tabela 2 mostra que é importante fornecer contingencia à rede de sincronismo. Em geral, os IED e as PMU vêm com sistemas de sincronismo ad hoc, isto é, sistemas próprios isolados. Via de regra, esses relógios possuem quartzos de baixa qualidade e raramente fornecem marcador de qualidade. Por isso, é importante fornecer uma topologia de sincronismo na rede que permita o sistema receber a referência de sincronismo de um relógio de melhor qualidade. Essa proposta de fornecer contingencia também está em linha com harmonização entre as normas IEEE C37.118 e IEC 61850, mencionada nesta mesma Norma:

When absolute time distribution is critical, a substation should rely on two redundant time servers. Some substations loose the reference signal period for a longer period due to their geographical location (e.g. in a deep valley). Also, GNNS jamming 9intentional or not) can occur. Solar storms have disabled GPS satellites. Therefore, the two time servers should be of different types and it is recommended to use an atomic clock as a backup. Rubidium clocks are available at affordable prices. Several clocks types can be used, provided the hierarchy between the clocks is the same for all devices." [3]

Em vista dessa convergencia FURNAS propôs uma nova topologia para sua Rede de Sincronismo que se utiliza **de uma arquitetura híbrida. Esta arquitetura trabalha com dois protocolos de distribuição do sinal de sincronismo: o** PTP- Precise Time Protocol (Norma IEEE 1588) e o IRIGB versão extended. O primeiro protocolo, na sua versão Telecom [4] permite a utilização de uma rede WAN para encaminar o sinal de sincronismo a partir de um relógio atômico de melhor qualidade (rubídio) localizado nos núcleos da Rede Operativa. A decisão de colocar os relógios nos núcleos se deve ao fato de tais relógios serem caros, o que indica a necessidade de uma economía de relógios para atender a rede inteira, e a posição estratégica desses núcleos que se comunicam com todas as demais unidades da empresa. Localmente, nas subestações, um relógio local, sincronizado ao relógio do núcleo, fornecerá sinal ao elemento PMU a partir do protocolo IRIGB extended. A razão de escolher esse protocolo se deve ao fato de que a maioria dos fabricantes de PMU aceitarem apenas sinais codificados com esse protocolo. A Fig. 5 ilustra a solução.

A vantagem desta solução é que ela pode ser estendida a todas as unidades da empresa com IED, ou seja, ela permite uma convergencia de tecnologias. Como internamente nas subestações há equipamentos IED em várias salas distantes entre si, nessa solução também se inclui o protocolo PTP Power [4] que é um protocolo utilizado

para distribuição de sinal de sincronismo em ambiente energizado. A Fig. 6 ilustra a solução.

Outra vantagem desta solução é poder integrar a gerencia de toda rede de sincronismo, isto é, do sincronismo para o sistema elétrico e do sistema de telecomunicações. Com a utilização do sincronismo Ad Hoc, isolado, não há possibilidade de se contar com uma gerência de sincronismo. Assim, embora o marcador de qualidade de sincronismo informe ao usuário final a qualidade da amostra, para os técnicos dos Agentes essa informação pode passar despercebida, a não ser que ela esteja associada a um alarme. A Rede de sincronismo integrada, no entanto, tem seus próprios dados de alarmes disponíveis. No caso de FURNAS, a Rede de Sincronismo conta com uma gerência integrada que recolhe alarmes dos relógios de núcleo e relógios locais, conforme Fig. 7.

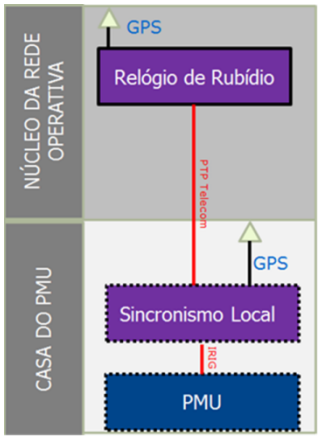

FIGURA 5 – Solução de FURNAS para sincronismo de PMU

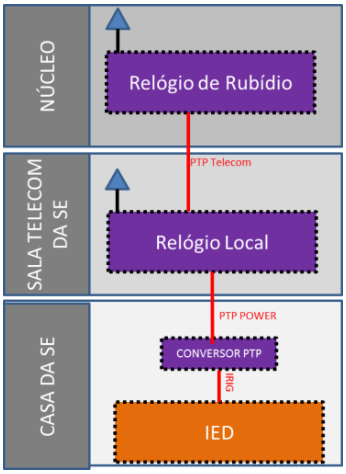

FIGURA 6 – Solução de FURNAS para sincronismo de IED

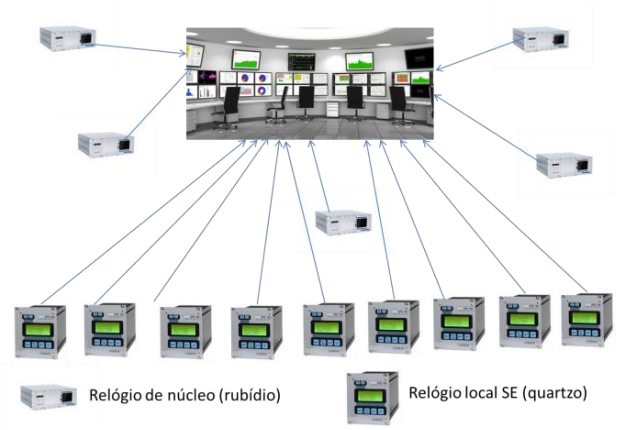

FIGURA 7 – Diagrama da gerencia de sincronismo

3.0 - CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou em linhas gerais o projeto da rede de comunicações de FURNAS para atender ao SMSF- Sistema de Medição Sincronizada de Fasores definido conforme Nota Técnica do ONS e Resolução da ANEEL. O projeto prevê o atendimento de requisitos de comunicação presentes na referida Nota Técnica. O projeto contempla a modernização de sua Rede Operativa de Dados para conformar sua topologia ao aumento de capacidade de banda, à introdução dos mecanismos de qualidade de serviço (QoS) para atendimento da disponibilidade e do tempo para entrega dos dados. Também aborda o reforço e a melhoria da sua rede de sincronismo ao abordar a questão de introduzir relógios de melhor qualidade e precisão e de adotar uma topologia de contingência para atender aos requisitos de SLA exigidos. O SMSF é um sistema de supervisão e controle de área ampla e por isso prevê um incremento do uso da Rede Operativa de Dados em sua área WAN, o que exige um redimensionamento e uma reconsideração de seus parâmetros de utilização.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Nota Técnica ONS NT 0115/2014, Rev 2016. Requisitos Mínimos para Unidades de Medição de Fasores (PMU) e Rede de Sincrofasores do Agente.

(2) Synchrophasor Measurements Under the IEEE Standard C37.118.1-2011.

(3) IEC/TR 61850-90-5 Edition 1.0 2012-05. Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-5. Use of IEC61850 to transmit synchrophasor information according to IEEEC37.118.

(4) Watt, Steven et alii. Understanding and Applying Precision Time Protocol. https://cdn.selinc.com/assets/Literature/Publications/Technical%20Papers/6650_UnderstandingApplying_SA_20140206_Web3.pdf?v=20151209-080654

(5) Submódulo 11.8. Sistema de Medição de Fasores. ONS, 16/12/2016.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Lucas Amaral (1982) é engenheiro eletricista graduado pela Universidade Federal Fluminense UFF em 2006. Possui MBA em gestão de telecomunicações pela Universidade Politécnica da Catalunha na Espanha e especialização em Gestão da Inovação pela Universidade de Stanford nos Estados Unidos. Atualmente é Engenheiro de Telecomunicações e participante da comissão de estudos CE 03 057 da ABNT (Gerenciamento e Intercâmbio de Informação Associada a Sistemas de Potência).

Guilherme Preger (1966) é engenheiro eletricista formado pela PUC/RJ e especializado na área das Tecnologias da Informação e Comunicação. Possui Mestrado em Eletromagnetismo Aplicado pela mesma Instituição e pós-graduado em Gerência de Projetos pela UERJ e Gestão Tecnológica da Inovação pela Unicamp. É sócio-membro do Cigré, atuando nos grupos B3 (subestações) e D2 (Telecomunicações e informática) . Atualmente, é doutorando em Teoria Literária pela UERJ, realizando pesquisa na área de Literatura e Ciência