

XI STPC ST - NNN

# Uma abordagem intensa do Barramento de Processos (IEC 61850-9-2), as inovações da segunda edição e a relação com a norma de TC´s e TP´s – IEC 61869-9

Paulo Sergio	Rodrigo Ramos	Cristiano Moreira	Paulo Sergio	Gustavo Espinha
Pereira Junior(*)		Martins	Pereira	Lourenço
Conprove	Conprove	Conprove	Conprove	Conprove
Indústria e	Indústria e	Indústria e	Engenharia	Engenharia
Comércio	Comércio	Comércio	-	-

#### PALAVRAS-CHAVE

IEC 61850-9-2 ED2, Barramento de Processos, Sampled Value, IEC 61869-9, Light Edition

#### **RESUMO**

A aplicação da Norma IEC 61850 nas Subestações de Energia (SE) do Brasil já é uma realidade, porém ainda de forma parcial, sem a implementação do barramento de processo.

O Sampled Value (SV) é um tópico relativamente novo para a nossa comunidade e que merece bastante atenção, pois modifica a forma como trabalhamos com as medições analógicas de corrente e tensão.

Este trabalho possui como objetivo explicitar o funcionamento completo do barramento de processos, levando em consideração as modificações ocorridas na segunda edição e a relação com norma de transformadores de instrumentos IEC 61869.

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

A norma de comunicação IEC 61850 já vem sendo abordada há algum tempo e se tornando cada vez mais presente entre as novas SE's.

Entre os pontos fortes principais da norma vale destacar dois deles: as padronizações na modelagem de dados (Data Models) e na Comunicação, visando o intercâmbio de informações entre dispositivos de fabricantes diferentes.

Quanto à comunicação, existem três grandes formas de troca de dados estabelecida pela IEC 61850: O Cliente-Servidor, GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) e SMV (Sampled Mensured Value). A primeira forma não possui tempo crítico, não garantindo velocidade; já a segunda e a terceira são baseadas na troca de informações com tempos críticos e de alta velocidade.

Ressalta-se que o coração da norma é pautado na interoperabilidade, ou seja, todas as Merging Units (MU) deverão enviar as amostras no mesmo formato e todos os IED's deverão receber / interpretar na mesma padronização.

Na essência o SV, de forma extremamente básica, pode ser definido com sendo a alteração física do conversor A/D, que deixa de estar na entrada do IED, e passa a ser situado no pátio da Subestação, já trazendo assim o sinal digitalizado via rede, distribuindo aos IEDs na casa de comando.

Um dos maiores benefícios do barramento de processos é quanto à economia de cabos, pois um cabo de fibra óptica que interliga o pátio com a casa de comando transmite 8 "sinais", 4 corrente + 4 tensões. Há algumas discussões quanto a MU levar também sinais digitais como status do disjuntor, mas ainda não há um consenso neste ponto.



XI STPC ST - NNN

# 2.0 - FUNCIONAMENTO DO BARRAMENTO DE PROCESSOS (SV)

A norma divide a comunicação no interior da SE através de dois barramentos: o barramento da estação (station bus) e o barramento de processos (process bus). O primeiro interliga o nível de estação com o nível de vão (bay), já o segundo interliga o nível de vão com o nível de processo.

O Barramento de processo talvez seja a parte mais desafiadora da norma IEC 61850. Este item trata de como as informações chegam e saem do nível de processo, através de mensagens de atuação GOOSE e medições analógicas por mensagens de Sampled Value.

Os dados digitalizados provenientes dos TC's e TP's são tratados pela Interface Lógica de número 4, IF4, contida na norma. Esta interface lógica faz a conexão entre o nível de processo e o nível de bay. Conforme mostrado na figura abaixo.

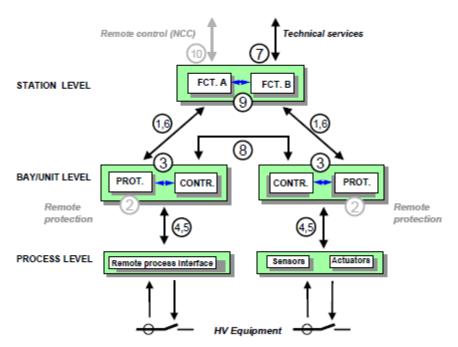


FIGURA 1 - Interfaces Lógicas e Níveis

A mensagem dos valores amostrados já digitalizados (SV) é injetada pela Merging Unit na rede ethernet. Um switch distribui as mensagens aos IED's e o uso de Virtual LAN evita o carregamento da rede segmentando-a. É importante lembrar que a rede Ethernet, por possuir um chaveamento estatístico, pode criar atrasos não determinísticos na transmissão dos pacotes (conforme a 61850-5 P2/3 é aceitável um atraso máximo de 3ms).

Entretanto, a norma IEC 61850-9-2 não específicou / definiu os detalhes de implementação e até hoje ainda não há um consenso geral sobre a maneira de implementação do Sampled Value (parte 9-2). Permitindo interpretações e criando vertentes, a mais famosa delas é a 9-2LE (Light Edition) que segue o guia de implementação da UCA "IMPLEMENTATION GUIDELINE FOR DIGITAL INTERFACE TO INSTRUMENT TRANSFORMERS USING IEC 61850-9-2" escrito no ano de 2004. Este guia será tratada neste paper.

No Sampled Value há a definição de dois tipos de mensagens: a de Proteção e de Qualidade de Energia. Para Proteção, cada frame carrega uma única amostra de cada um dos oito sinais, já para qualidade são concatenadas 8 amostras de cada um dos oito sinais e enviada em uma única mensagem. Para 60 Hz tem-se uma taxa de amostragem de 4800 samples/s para Proteção e 15360 samples/s para Qualidade. Já para 50 Hz 4000 samples/s para Proteção e 12800 samples/s para Qualidade.



XI STPC ST - NNN

Apesar de uma taxa de aquisição maior o frame de Qualidade cria uma quantidade menor de "pacotes" trafegando na rede devido a esta concatenação de 8 amostras em cada mensagem. Neste trabalho será focado o frame de proteção.

O mecanismo de Sincronismo do guia da UCA trata que o sinal de 1PPS deve ser transmitido via fibra óptica e a fonte de sincronismo deve possuir precisão de ±1us. Este método é utilizado para garantir a sincronização da aquisição entre vários dispositivos sem perda da referência angular.

Quanto a estrutura do frame, muitas vezes, de forma equivocada, é mencionado sobre a estampa de tempo do SV, porém não há estampa de tempo (Time Stamp), e sim um contador de amostras (SmpCnt) com a funcionalidade de indexar um número a cada amostra digitalizada. Este número é incrementado a cada digitalização, sendo resetado a cada 1 segundo.

A mensagem é composta por 4 Correntes (IA, IB, IC e IN) e 4 Tensões (VA, VB, VC e VN). Para cada "fase" tem-se o valor instantâneo digitalizado mais uma referência da qualidade da amostra, formando assim um par Value+Quality. O Value é um inteiro de 32 bits, já o Quality é composto por 4 Bytes e permite avaliar se aquela amostra é boa, questionável ou inválida, de acordo com seu número binário.

Quanto ao valor da amostra, o mesmo é transmitido referenciado ao primário com a seguinte resolução: 1 dígito de corrente representa 1mA e um dígito de tensão equivale a 10mV.

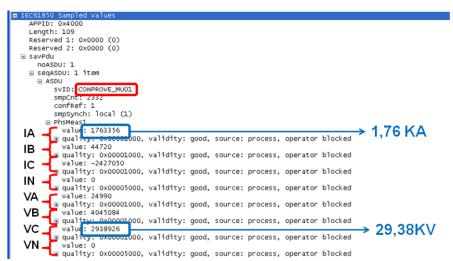


FIGURA 2 – Exemplo frame SV capturado no analisador de protocolo.

## 2.1- CONVIVÊNCIA DAS DUAS TECNOLOGIAS (ANALÓGICA / SV)

Com a ampliação ou retrofit das SE's a tendência é encontrarmos instalações híbridas num futuro não muito distante que proporcionará a convivência das duas tecnologias.

Como os equipamentos de potência do pátio tem a vida útil de duas a três vezes maior que os instrumentos eletrônicos da casa de comando, é uma oportunidade para a implementação do SV no retrofit da SE. Em um retrofit ou ampliação de um bay poderá ocorrer uma condição onde os dois métodos irão coexistir em uma mesma subestação.

Poderão existir IED's que comparem dois sinais diferentes, um analógico e outro SV. Por exemplo, em um IED de Proteção de Barra ou um Oscilógrafo / Qualímetro que pode conter os dois tipos de entradas. Ambos os exemplos devem estar aptos a medir e comparar sinais de bays diferentes que podem estar utilizando tecnologias distintas.

Há uma certa dificuldade ao comparar o sinal analógico com um sinal de SV. Para isso, deve ser levado em conta a diferença do tempo de transmissão, não podendo ser comparado no mesmo instante de aquisição cada ponto da forma de onda.



XI STPC ST - NNN

O método que permite "casar" os sinais consiste em alinhar em um buffer levando em conta o SmplCnt=0 e o 1PPS com o sinal de secundário (analógico tradicional). Deve-se aquisitar o sinal de 1PPS juntamente com o Analógico e "puxar" o Sampled Value com a SC=0 para o mesmo momento da ocorrência do 1PPS. Deve-se adotar este procedimento, pois esta amostra foi digitalizada exatamente neste instante, e essa diferença de tempo trata-se do tempo de transmissão do frame.

Porém, para isso, é preciso esperar até o máximo tempo de transmissão, que é de 3ms definido pela norma. Sendo assim somente após 3ms é possível alinhar as suas formas de onda, a analógica tradicional e a digitalizada (SV), criando um atraso de 3ms na tomada de decisão.

A respeito das duas tecnologias, cabe uma comparação, pois ambas possuem aspectos positivos e negativos conforme podemos verificar na tabela abaixo.

**Positivos Negativos** Segurança (Manipula-se energia, Tecnologia já consolidada Sinal de Secundário chance de deixar sec TC aberto) (TC/TP) Já se encontra instalado Saturação (Burden Maior) Monitoramento Continuo da Receio da Nova Tecnologia Qualidade das Amostras Incipiente Economia de cabos Falta de Histórico de Longa Data IEC 61850-9-2 (SV) Evita saturação (Menor Burden) Segurança (Manipula-se apenas informações, bits)

Tabela 1 - Comparação Analógico x SV

#### 2.2 - A EVOLUÇÃO DA NORMA IEC 61850

Desde sua criação, a Norma IEC 61850 ampliou sua área de atuação e modificou seu nome. Esta foi inicialmente pensada para a comunicação dentro da subestação, porém com o passar do tempo, foram incluídas novas funcionalidades à mesma. Inclusive seu título sofreu alteração, de: "Communication networks and systems in substations" para: "Communication networks and systems for power utility automation" pois passou a englobar a comunicação não apenas no interior da SE, mas também para fora dela (Partes -80 e -90).

Muito se fala sobre a segunda edição da norma, quando na verdade não existe exatamente uma segunda edição da norma como um todo, e sim de partes. Primeiramente é preciso entender o que se quer dizer com segunda edição.

O conjunto de partes que é popularmente chamada de segunda edição engloba as segundas edições de algumas das 14 partes da primeira publicação (até 2004), mas também as partes novas que estão sendo publicadas em sua primeira edição.

Quando foram publicadas as primeiras 14 partes, até 2004, todas as elas foram definidas como primeira edição. Algumas destas 14 partes já sofreram "manutenção" e tiveram sua nova publicação como segunda edição. Novas partes são publicadas em sua primeira edição.

Deve-se tratar como primeira ou segunda edição cada parte individualmente, e não a norma toda.

As novas publicações são tanto 2ª edição de partes já publicadas quanto partes inéditas. A partir de 2004 até a data da elaboração deste artigo são elas:

Inéditas Edição 1: IEC 61850-7-510, -80-1, -90-1, - 90-5

Revisões das já Existentes ED2: IEC 61850-4, -6, -7-1, -7-2, -7-3, -7-4, 7-410, 7-420, -8-1, -9-2

Atualmente ao todo são 19 partes publicadas e mais 22 partes propostas que ainda estão em fase de preparação.



XI STPC ST - NNN

Tabela 2 - Todas as 19 Partes da Norma IEC 61850 publicadas até o momento

Parte	ED	Nome		
1	1.0	Introduction and overview		
2	1.0	Glossary		
3	1.0	General requirements		
4	2.0	System and project management		
5	1.0	Communication requirements for functions and device models		
6	2.0	Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs		
7-1	2.0	Basic communication structure – Principles and models		
7-2	2.0	Basic communication structure – Abstract communication service interface (ACSI)		
7-3	2.0	Basic communication structure – Common data classes		
7-4	2.0	Basic communication structure – Compatible logical node classes and data classes		
7-410	1.0	Hydroelectric power plants - Communication for monitoring and control		
7-420	1.0	Communications systems for distributed energy resources (DER) - Logical nodes		
7-510	1.0	Use of logical nodes to model functions of a hydro power plant		
8-1	2.0	Specific communication service mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO/IEC 9506-1		
		and ISO/IEC 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3		
9-2	2.0	Specific communication service mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3		
10	1.0	Conformance testing		
80-1	1.0	Guideline to exchanging information from a CDC-based data model using IEC 60870-5-		
		101 or IEC60870-5-104		
90-1	1.0	Using IEC 61850 for the communication between substations		
90-5	1.0	Using IEC 61850 to transmit synchrophasor information according to IEEE C37.118		

## 2.3 - PRINCIPAIS DIFERENÇAS DA IEC 61850-9-2 ED2

Quanto ao barramento de processos, a segunda edição da parte 9-2 foi oficialmente publicada em setembro de 2011 e trás alterações e novos conceitos.

Um ponto que continua aberto na segunda edição da parte 9-2 da norma é que a mesma não possui informações quanto à perda de amostras. Se um IED estiver recebendo dados de duas MU's diferentes em uma proteção diferencial, e caso um pacote seja perdido, como será realizada a comparação? Alguns pacotes podem ser perdidos? Até quantos? Como o IED que está recebendo o sinal digitalizado deverá proceder quando há perda de pacotes?

As principais alterações apresentadas nesta edição foram a inserção da Redundância do Link abordada na IEC 62439-3 High Availability Networks e a adição do parâmetro de Segurança que é abordada na "IEC 62351-6 Security for IEC 61850".

#### 2.3.1 REDUNDÂNCIA DO LINK

Uma fonte de perda de mensagens pode ser o chaveamento dos caminhos de comunicação. Atualmente se utiliza o protocolo RSTP (Rapid Spaning Tree Protocol) que funciona da seguinte forma: Existem dois caminhos conectados, porém apenas um destes é utilizado por vez. Somente quando o link é perdido que a comunicação passa a operar pelo outro caminho, existindo um tempo para esta comutação. Este tempo de reconfiguração da rede pode causar perdas e atrasos das amostras.

Foi inserido na segunda edição da parte 9-2 o conceito de redundância de link. Esta tecnologia poderá evitar as perdas e atrasos das amostras, quando há uma reconfiguração da rede, como ocorre hoje com o RSTP.

A Redundância do link funciona da seguinte forma: são enviadas duas mensagens, uma por cada caminho diferente e cabe ao receptor comparar e filtrar a mensagem que chega sempre de forma duplicada.



XI STPC ST - NNN

No caso de alguma interrupção em um dos canais de comunicação, nenhum bit é perdido visto que a mensagem também seguiu por outro caminho. Desta forma elimina-se o tempo de chaveamento existente no RSTP, abolindo, além disso, o tempo de recomposição (chaveamento) da rede onde ocorreriam perdas ou atrasos.

A IEC 62439-3 define a High Availability Networks, através de dois métodos: HSR (High Availability Seamless Ring) e PRP (Parallel Redundancy Protocol). Na HSR a redundância ocorre no IED já na PRP a redundância ocorre no switch.

O HSR, por trabalhar com a redundância no IED, reduz a quantidade de switchs necessária na sua implantação e altera o frame ethernet em sua parte inicial logo após os bytes do Priotity Tagged, conforme mostra a figura 3.

Já o PRP realiza a redundância com Switchs, dobrando assim o número de switchs para sua implementação. A alteração do frame ethernet ocorre em sua parte final antes dos bytes do Check Sequence, conforme mostra a figura 3.

Vale ressaltar que a redundância do link é tratada como um parâmetro opcional, não sendo mandatória a sua adoção.

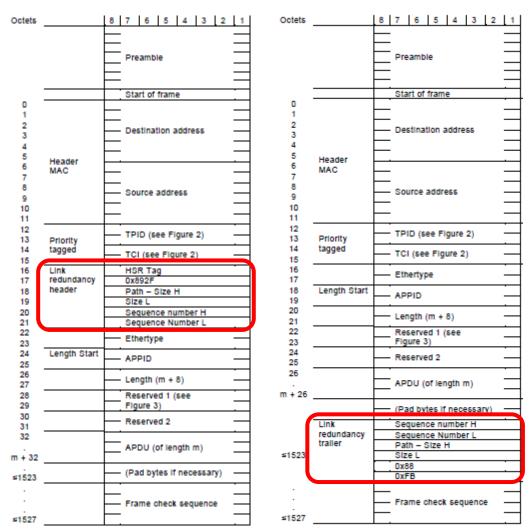


FIGURA 3 - Exemplo de Frame com implementação do HSR à esquerda e com PRP à direita



XI STPC ST - NNN

### 2.3.2 SEGURANÇA IEC 62351-6 (RESERVED)

Outra alteração da segunda edição na parte 9-2 é nos campos Reserved. No frame ethernet da mensagem de SV existem dois campos de Reserved com 2 Bytes cada um. (Reserved 1 e Reserved 2). Na primeira edição da parte 9-2, estes campos não eram utilizados, sendo setados sempre em zero.

Já na segunda edição estes campos são utilizados, da seguinte forma:

São 4 Bytes no total sendo dois para Reserved 1 e dois Para Reserved 2. Totalizando 32 Bits, sendo distribuídos da seguinte forma:

1 Bit S: Simulation Bit. Utilizado para identificar se o Frame é proveniente de um dispositivo de testes.

3 Bits R: Reservado para uso Futuro.

28 Bits Reserved Secutity: Usado para Segurança (12 Bits no Reserved1 e mais 16 Bits no Reserved2)

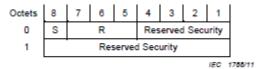


Figure 3 - Reserved 1

FIGURA 4 - Representação em Bits do Campo Reserved1

A implementação de segurança é realizada em conformidade com a IEC 62351-6, através da assinatura digital das mensagens. A segurança aplicada a mensagens de alta velocidade tal como GOOSE e SV exigem um tratamento diferenciado para que não haja atrasos referentes ao processamento adicional dos dados de segurança.

# 2.3.3 - DEFINIÇÃO DOS DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO

O principal problema quanto a IEC61850-9-2 ED2 continua sendo a não definição dos detalhes de implementação. O fato de ter sido deixado em aberto vários pontos necessários para colocar em prática o barramento de processos acaba por criar uma grande barreira para interoperabilidade entre dispositivos diferentes.

Devido a norma não estabelecer os detalhes de implementação, as definições contidas no guia da UCA, "IMPLEMENTATION GUIDELINE FOR DIGITAL INTERFACE TO INSTRUMENT TRANSFORMERS USING IEC 61850-9-2" (Light Edition), vem sedo utilizado como referência.

Porém, este guia, é apenas um acordo entre alguns fabricantes visando unificar os procedimentos e conceitos do Sampled Value. não sendo uma norma.

#### 2.4- A RELAÇÃO COM A NORMA IEC 61869-9

A IEC 61869 é uma norma sobre Transformadores de Instrumentação, com quinze partes que definem os requerimentos para TC's e TP's. Em sua parte 9 são tratadas as Interfaces Digitais para Transformadores de Instrumentos.

Atualmente em fase de rascunho (CD), a IEC 61869-9 (Digital Interface for Instrument Transformer) possui previsão de publicação para segundo semestre de 2013.

Ela é a substituta da norma IEC 60044-8 que foi utilizada como referência para a IEC 61850 na parte da estrutura do dataset dos valores amostrados. Desta forma pode-se dizer então que ela vem para complementar a IEC 61850.

A norma 61869-9 possui forte embasamento no Guia de Implementação da UCA (Light Edition), incorporando para o interior da norma várias de suas definições, visando assim manter a compatibilidade.



XI STPC ST - NNN

Utiliza a própria rede ethernet para a tarefa de sincronização através da a IEEE1588 (IEC 61588-Ed2), deixando para a fiação de 1PPS um papel de coadjuvante, podendo ser uma opção.

A norma trata da questão de que de acordo com a tecnologia aplicada, a realização física da "digitalização" dos valores analógicos pode ocorre de varias maneiras.

A Merging Unit é definida como parte do Transformador de Instrumentos (TI), podendo estar ou não em uma mesma unidade física. Sua entrada pode ser Normalizada ou Proprietária.

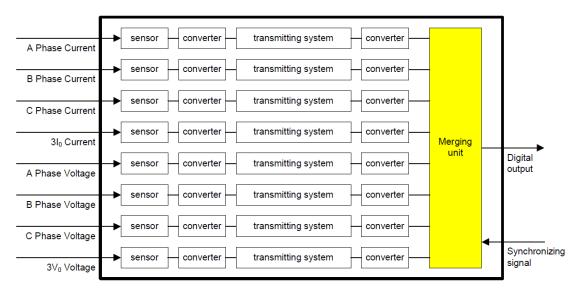


FIGURA 5 - MU fazendo parte de um TI eletrônico

Já a concepção de Stand Alone Merging Unit (SAMU), trata-se de um produto separado não fazendo parte dos transformadores de instrumentação. Suas entradas são sempre padronizadas e podem ser da forma analógica ou digital. Este método pode ser usado para retrofits, mantendo os TC's e TP's existentes.

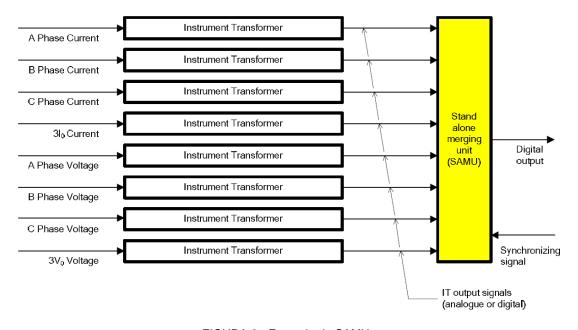


FIGURA 6 - Exemplo de SAMU



XI STPC ST - NNN

Os dados provenientes de uma MU integrada ao TI e de uma SAMU deverão ser indistinguíveis um do outro.

No quesito taxa de amostragem, a norma cria uma nova condição, pois dá preferência para as Taxas de 4000 e 12800, independente da freqüência do sinal, ou seja para Proteção, a taxa de amostragem de 4000samples/s poderia ser utilizada em um sistema de 50 ou 60Hz, diferentemente da definição do Light Edition.

A norma também descreve o conceito de Holdover Mode pregando que caso haja perda do sinal de sincronização por um curto período de tempo, a Merging Unit deve continuar enviando a mensagem de SV normalmente, sem interrupção. O tempo mínimo de Holdover Mode é de 5 segundos. Este é um artifício para caso haja algum problema temporário no sinal de sincronismo, levando em conta que a MU possui um clock interno de precisão, não gerando assim um escorregamento tão grande até que o sinal de sincronismo seja restabelecido.

Este artigo abre caminho para continuação do tema, explorando outros aspectos não abordados mas contidos na da IEC 61869-9, tal como os requerimentos de testes.

A 61869-9 consolida o uso das definições do documento 9-2 LE, que era considerado um documento a parte através de um acordo e passa a fazer parte de uma norma, com algumas inclusões. Entretanto a norma ainda não está finalizada, sendo apenas um draft e poderá sofrer alterações.

#### 3 CONCLUSÃO

Comparando o tradicional circuito de secundário e o sistema de Valores Amostrados (SV), existem pontos positivos e negativos em ambos. Porém o SV possui como principal benefício à economia de cabos.

Quanto à coexistência das duas tecnologias, na medição de sinais analógicos e SV juntos, poderá existir um pequeno atraso para a tomada de decisão, visto que há a necessidade de alinhar os dois sinais no tempo. Este atraso é praticamente desprezível para a realidade do sistema de potência.

A segunda edição da IEC 61850-9-2 não trouxe as definições de implementação que faltava a primeira edição. Contudo, com a futura publicação da IEC 61869-9 poderemos enfim ter uma padronização normalizada para o Sampled Value, contendo todos os detalhes de implementação necessários para manter a interoperabilidade.

Conclui-se que devemos estar preparados para a ruptura do paradigma do circuito de secundário. Sendo assim o conhecimento sobre o Sampled Value é de fundamental importância para profissionais envolvidos na Proteção, Automação e Controle, pois as perspectivas indicam que o Barramento de processos virá a ser adotado com o passar do tempo.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Norma IEC 61850- Communication networks and systems in substation Todas as Partes
- (2) Implementação de um Sistema de Envio e Recebimento de Sampled Value (IEC 61850-9-2) Pereira Junior, P. S.; Ramos, R. R.; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E.- Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, XXI SNPTEE de 2011.
- (3) Rascunho Norma IEC 61869-9 Digital Interface for Instruments Transformers Agosto 2011
- (4) Investigação do Funcionamento do Barramento de Processos (IEC 61850-9-2) Uma Abordagem Prática Pereira Junior, P. S.; Ramos, R. R.; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E.- Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, IX SIMPASE de 2011.
- (5) Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2 UCA International Users Group Datada de 01/03/2004.
- (6) IEC 61850-9-2 Avaliação e Testes De Um Barramento De Processos Pereira Junior, P. S.; Ramos, R. R.; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E. Seminário Técnico de Proteção e Controle, IX STPC de 2010.