

XVIII ERIAC DÉCIMO OITAVO ENCONTRO REGIONAL IBERO-AMERICANO DO CIGRE



Foz do Iguaçu, Brasil

19 a 23 de maio de 2019

Comitê de Estudos CE - Título do Comitê de Estudos CE

Análise dos Limites de Transmissão de Dados no Barramento de Processos

P.S.P Junior* Conprove Ind. e Comércio Brasil

R.C. Bernardino Conprove **Engenharia Brasil**

C.M. Martins Conprove Ind. e Comércio Brasil

P.S. Pereira Conprove Engenharia Brasil

G.E. Lourenço **Conprove** Engenharia Brasil

Resumo – Este trabalho discutirá os limites da transmissão de dados no Barramento de Processos, ou seja, a largura de banda ocupada na rede pelo envio dos Sampled Values (SV) através de uma Merging Unit (MU). Serão realizados diversos ensaios para demonstrar o comportamento da rede e a largura de banda consumida, sendo utilizadas malas de teste para simular as Merging Units. Questões como o uso de VLANs, configuração do frame SV pela IEC 61850-9-2LE ou pela IEC 61869-9 bem como o número máximo de MUs permitidas na rede vão ser abordados nos ensaios propostos. Será deduzido um equacionamento que auxiliará na análise de otimização do uso da largura de banda disponível da rede para o Barramento de Processos.

Palavras-chave: Bandwidth, Process Bus, IEC 61850, IEC 61869, Rede Ethernet, Sampled Values

INTRODUÇÃO

A norma IEC 61850 define o SAS (Substation Automation System) dividido em três níveis: processo, bay e estação. No nível de processo é onde se encontram todos os dispositivos que interfaceiam com o sistema como sensores, atuadores, TCs e TPs, disjuntores e etc. Já no bay é onde se encontram os IED's para desempenhar funções de proteção, medição e controle. E, por fim, na estação é onde se concentra o sistema supervisório para monitoramento geral da subestação. Interligando os níveis de processo e bay se encontra o Barramento de Processo conectando, portanto, os dispositivos que interfaceiam com o sistema (TCs, TPs, atuadores e etc) aos IEDs no nível de bay. Para interligar os níveis de bay e estação existe o barramento da estação conectando os IEDs ao sistema supervisório.

Os Sampled Values foram definidos através da IEC 61850-9-2 em 2004, sendo frames Ethernet que contém os valores digitalizados de corrente e tensão do secundário dos TCs e TPs. Através desta norma o paradigma foi alterado, pois não mais se trabalha com sinais analógicos de secundário, mas com valores amostrados enviados pela rede. Desta forma, o sistema de cabeamento rígido por fiação de cobre é substituído por cabos de rede, resultando em economia financeira e simplicidade das conexões.

Os Sampled Values possuem três principais características: as mensagens são padronizadas o que permite interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes, as mensagens são multicast e, portanto, possuem um intervalo fixo padronizado pela norma de endereços MAC de Destino (01: 0C: CD: 04: 00: 00 até 01: 0C: CD: 04: 01: FF) e devido à importância da função que essas mensagens desempenham, rodam apenas na segunda camada da rede Ethernet (camada de Enlace). Logo, são mensagens de alta prioridade (nível 4) sendo de tempo crítico.

Ainda em 2004, a UCA lançou um Guia de Implementação com informações adicionais à norma IEC 61850-9-2 que ficou conhecido como "Light Edition", tornando-se uma referência para a implementação do Process Bus. Este documento definiu que os Sampled Values deveriam ser enviados a uma taxa de amostragem de 4800Hz para uma rede de 60Hz com 1 ASDU (Application Service Data Unit) cada frame, o que significa um Sample Counter por mensagem. Sendo amostrados três correntes e três tensões mais os neutros, totalizando oito sinais por frame. Já em 2016, foi lançada uma norma complementar à IEC 61850-9-2 que é a IEC 61869-9. Este documento trouxe algumas alterações aumentando as taxas de amostragem permitidas e o número de ASDUs. Sendo que, de acordo com essa norma, a taxa de amostragem preferida é 4800Hz para uma rede de 60Hz com 2 ASDUs cada frame, o que significa dois Sample Counter por mensagem.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é abordar os limites da transmissão de dados no Barramento de Processos de forma a definir o número máximo de MUs que a rede suporta. Utilizando malas de testes dos modelos Conprove CE-6710 e Conprove CE-7024 para simular as Merging Units, vários testes serão realizados para verificar o comportamento da rede Ethernet e a largura de banda consumida.

Nos ensaios propostos, serão abordadas questões como o consumo da rede pelo máximo de MUs configuradas com base na IEC 61850-9-2LE ou na IEC 61869-9 e a influência do uso de VLANs. Será feito um equacionamento que auxiliará na análise de otimização do uso da largura de banda disponível da rede para o Barramento de Processos, alguns conceitos de redes de dados como Bandwidth, VLAN e Switches Gerenciáveis serão abordados no artigo.

Através deste estudo, será feito um comparativo dos tempos de transmissão das mensagens SV e a largura de banda ocupada pelas MUs tanto pela 9-2LE quanto pela IEC 61869-9, verificando a capacidade máxima de transmissão em número de MUs para cada norma. Além disso, serão abordadas algumas questões como: qual o comportamento da rede se houver ou não VLAN? Se enviar um máximo de MUs em uma porta do Switch, será possível ler os pacotes em uma segunda porta? E, se utilizar mais portas, qual será o comportamento da rede?

2 CONCEITOS DE REDES DE DADOS

A Bandwidth ou Largura de Banda de uma rede define a capacidade de transmissão de dados por unidade de tempo. Em uma subestação, a largura de banda utilizada pelos Switches é de 100Mb/s ou 1Gb/s, o que significa que nessa rede em um segundo é possível transmitir, no máximo, 100Mbits de dados ou 1Gbits de dados, respectivamente.

Para redes que possuem aplicações de maior performance, tal como a IEC 61850, Switches Gerenciáveis são exigidos. As diferenças básicas entre um switch gerenciável e um switch comum estão nas funcionalidades. O gerenciável possui diversas aplicações que um switch comum não possui, podemos destacar algumas como gerenciamento via software, configurações de segurança, espelhamento de porta, filtros multicast, implementação de protocolos de redundância como o Spanning Tree, RSTP ou até protocolos proprietários, gerenciamento automático de flags de prioridade, configuração do uso de banda e etc.

Uma VLAN (Virtual LAN) é uma rede local virtual muito utilizada nas subestações por permitir separar logicamente diversas redes locais. Isso permite operar várias redes simultaneamente sem que uma interfira no funcionamento da outra. Assim, os diversos dispositivos de uma mesma subestação, agrupados em diferentes VLANs, podem estar conectados num mesmo Switch e operar sem conflitos.

3 COMPARAÇÃO DOS TEMPOS DE TRANSMISSÃO E LARGURAS DE BANDA PARA O PROCESS BUS DE ACORDO COM AS NORMAS IEC 61850-9-2LE E IEC 61869-9

É um equívoco considerar apenas o tamanho dos pacotes ao analisar a largura de banda ocupada em uma rede pelos frames Sampled Values, esta é uma abordagem simplista. Isto se deve ao fato de essas mensagens possuírem a característica singular de terem altas taxas de transmissão, resultando em tempos de microssegundos entre os frames. Devido a esta característica, deve-se levar em consideração a latência de chaveamento das portas do Switch.

Para evitar erros no dimensionamento da rede, deve-se considerar o tempo de chaveamento das portas do Switch, também chamado de tempo de latência do Switch. Para aplicações cujos frames são grandes, próximo ao padrão Ethernet de 1512 Bytes, o tempo de chaveamento das portas do Switch pode ser considerado desprezível. Porém, quando se trata de aplicações como os Sampled Values no Barramento de Processos cujos frames são pequenos, em torno de 10% dos 1512 Bytes, mas cuja frequência de transmissão é alta, o tempo de chaveamento das portas do Switch já não é mais desprezível e deve ser levado em consideração.

De acordo com a 9-2LE, os frames SV devem ser enviados a uma taxa de amostragem de 4800Hz (rede de 60Hz) com 1 ADSDU, isso significa que uma MU deve transmitir 4800 frames por segundo. Portanto, a cada

208.33µs um novo frame SV deve ser transmitido por MU. Abaixo, a Figura 1 retirada da 9-2LE ilustra a taxa de amostragem e o número de ASDUs para Proteção.

Attribute Name		Value MSVCB01			01		Value MSVCB02	Comment
MsvCBNam	MSV	MSVCB01				MSVCB02		
MsvCBRef	XXXX	xxxxMUnn/LLN0\$MSVCB01				xxxxxMUnn/LLN0\$MSVCB02		
SvEna	TRUE / FALSE					TRUE / FALSE		Value is defined by configuration (see clause 7.3)
MsvID	XXXX	xxxMUnn01				xxxxMUnn02		xxxxMUnn is the LDName; 01/02 is the number of the MSVCB instance
DatSet	xxxxMUnn/LLN0\$PhsMeas1			Meas1	xxxxMUnn/LLN0\$PhsMeas1			
ConfRev	1	1				1		
SmpRate	80	80				25	6	
Attribute Name				/alue SVCB01	Value MSVCB02		Comment	
NoASDU			1		8			
MACDestinationAddress		ss					Needs to be configured; the recommendations of [9-2], Annexe C shall be followed	
OptFlds								
security			FALSE FALS		FALSE			
data-set		\neg	FALSE FALSE					

Figura 1 - Taxa de Amostragem e Número de ASDUs: IEC 61850-9-2LE

Para exemplificar a análise dos tempos de transmissão no formato da 9-2LE, utilizando a mala de testes Conprove CE-6710 para simular uma Merging Unit, é possível constatar que o pacote SV em questão possui 125 Bytes ou 1000 bits, conforme indica a Figura 2 abaixo, retirada do analisador de protocolos de rede Wireshark. Logo, em uma rede de 100Mb/s, cada frame SV terá um tempo de transmissão de 10µs. Levando-se em conta um tempo de chaveamento teórico, entre as portas de um Switch Ruggedcom, de 4µs aproximadamente, essa mensagem SV tem um tempo total de envio (composto pela soma do tempo de transmissão do frame SV com o tempo de chaveamento do Switch) de 14µs.

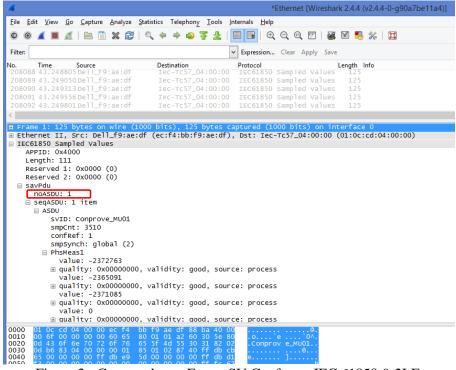


Figura 2 - Captura de um Frame SV Conforme IEC 61850-9-2LE

Com os dados acima, pode-se estimar o número máximo de MUs que é possível enviar em uma rede de 100Mb/s, bem como a largura de banda ocupada por essas MUs. Como deduzido, se uma mensagem SV deve ser enviada a cada 208.33µs e o tempo total de envio do exemplo é de 14µs, chega-se a conclusão que é possível enviar, no máximo, 14 MUs em uma rede de 100Mb/s. Com relação à largura de banda ocupada por essas 14MUs, como cada frame possui 1000 bits e em um segundo são enviados 4800 frames, chega-se a conclusão que essas MUs ocupam 67.2Mb/s de uma rede de 100Mb/s, ou seja, apenas 67.2% da largura de banda da rede.

Já de acordo com a IEC 61869-9, a taxa de amostragem preferida é de 4800Hz (rede de 60Hz) com 2 ASDUs, isso significa que uma MU deve transmitir 2400 frames por segundo. Portanto, aproximadamente, a cada 416.67μs um novo frame SV deve ser transmitido. Abaixo, a Figura 3 retirada da IEC 61869-9 ilustra a taxa de amostragem preferida para Proteção assim como o número de ASDUs.

Digital output sample rates Hz	Number of ASDUs per frame	Digital output publishing rate frames/s	Remarks		
4 000	1	4 000	For use on 50 Hz systems backward compatible with 9-2LE guideline.		
4 800 1		4 800	For use on 60 Hz systems backward compatible with 9-2LE guideline, or 50 Hz systems backward compatible with 96 samples per nominal system frequency cycle.		
4 800	2	2 400	Preferred rate for general measuring and protective applications, regardless of the power system frequency.		
5 760	1	5 760	For applications on 60 Hz systems backward compatible with 96 samples per nominal system frequency cycle.		
12 800	8	1 600	Deprecated, only for use on 50 Hz systems.		
14 400 6		2 400	Preferred rate for quality metering applications, regardless of the power system frequency including instrument transformers for time critical low bandwidth d.c. control applications.		
15 360	8	1 920	Deprecated, only for use on 60 Hz systems.		
96 000 1		96 000	Preferred rate for instrument transformers for high bandwidth d.c. control applications.		

Figura 3 - Taxa de Amostragem e Número de ASDUs: IEC 61869-9

Para exemplificar a análise dos tempos de transmissão no formato da IEC 61869-9, utilizando a mala de testes Conprove CE-6710 para simular uma Merging Unit, é possível constatar que o pacote SV em questão possui 223 Bytes ou 1784 bits, conforme indica a Figura 4 abaixo, retirada do analisador de protocolos de rede Wireshark. Logo, em uma rede de 100Mb/s, cada frame SV será transmitido em aproximadamente 17.84μs. Levando-se em conta um tempo de chaveamento teórico, entre as portas de um Switch Ruggedcom, de 4μs aproximadamente, essa mensagem SV tem um tempo total de envio (composto pela soma do tempo de transmissão do frame SV com o tempo de chaveamento do Switch) de 21.84μs.

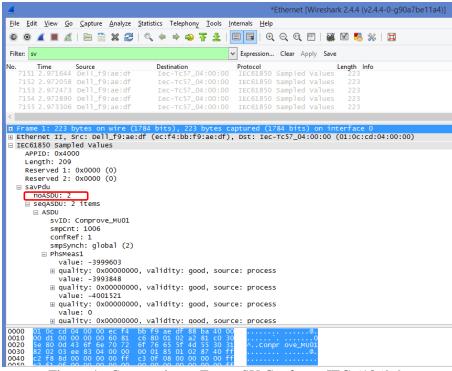


Figura 4 - Captura de um Frame SV Conforme IEC 61869-9

Com os dados acima, pode-se estimar o número máximo de MUs que é possível enviar em uma rede de 100Mb/s, bem como a largura de banda ocupada por essas MUs. Como deduzido, se uma mensagem SV deve ser enviada a cada 416.67µs e o tempo total de transmissão é de 21.84µs, chega-se a conclusão que é possível enviar, no máximo, 19 MUs em uma rede de 100Mb/s. Com relação à largura de banda ocupada por essas 19 MUs, como cada frame SV possui 1784 bits e em um segundo são enviados 2400 frames, chega-se a conclusão que essas MUs ocupam 81.35Mb/s de uma rede de 100Mb/s, ou seja, 81.35% da largura de banda da rede.

Com os dados acima é possível deduzir uma equação que calcula o número máximo de MUs que uma rede suporta e derivar outra equação que calcula a largura de banda total consumida por essas MUs, tudo em função da taxa de amostragem dos pacotes SV, número de ASDUs, tamanho do frame SV, largura de banda da rede e o tempo de latência do Switch.

Abaixo, a Equação 1 calcula o número máximo de MUs que uma rede suporta.

Equação 1 - Número Máximo de MUs $nMaxMU = \frac{\Delta tSV}{tEnv}$

Onde,

$$\Delta tSV = \left(\frac{fAmost}{nASDU}\right)^{-1}$$

$$tEnv = \left(\frac{Lframe}{BWrede}\right) + tSW$$

Sendo,

nMaxMU = número máximo de MUs na rede; ΔtSV = período de transmissão entre os frames SV; tEnv = tempo total de envio de um frame SV; fAmost = taxa da amostragem dos frames SV; nASDU = número de ASDUs; *Lframe* = tamanho do frame SV em bits;

BWrede = largura de banda da rede;

tSW = tempo de latência do Switch.

Abaixo, a Equação 2 calcula a largura de banda total consumida pelo número máximo de MUs na rede.

Equação 2 - Largura de Banda Total Consumida pelas MUs na Rede
$$BWmu = \left(Lframe * \frac{fAmost}{nASDU}\right) * nMaxMU$$

Sendo,

BWmu = largura de banda total consumida pelo máximo de MUs na rede.

4 ENSAIOS

Alguns testes foram realizados para demonstrar o comportamento da rede bem como a largura de banda consumida em diversas situações envolvendo o envio do número máximo de MUs em uma ou mais portas do Switch e fazendo o uso ou não de VLANs. Para realizar os ensaios foram utilizadas malas de testes dos modelos Conprove CE-6710 e CE-7024, o Conprove CE-GPS para realizar sincronismo temporal, o Switch Ruggedcom RS940G e um software para leitura dos Sampled Values, o Conprove MultimSV.

Os ensaios foram realizados tanto no contexto da IEC 61850-9-2LE quanto no contexto da IEC 61869-9, sendo o tamanho das mensagens configuradas de 1000 bits e 1784 bits respectivamente, como nos exemplos do item 3 acima.

Os modelos CE-6710 e CE-7024 possuem suporte total à IEC 61850, sendo capaz de gerar sinais de corrente e tensão de forma analógica ou Sampled Values, através da funcionalidade IEC 61850-9-2LE e IEC 61869-9 que é parte integrante do equipamento, simulando uma ou mais Merging Units no barramento de processos.

No barramento de processo, as malas podem ser utilizadas para checar a rede, enviando e recebendo mensagens, simular sobrecargas gerando até 10 MUs simultaneamente, simular falhas (perdas de pacotes, atraso de pacotes, pacotes duplicados e pacotes corrompidos), simular erros (perda de sincronismo, alterações dos valores dos Quality Bits) e alterar o estado do Bit de simulação.

O software MultimSV atua, literalmente, como um multímetro de Sampled Values, realizando a leitura dos frames e exibindo as formas de onda, medição das amplitudes e ângulos de fase, análise de harmônicos e detecção de erros no recebimento dos pacotes.

Abaixo, a Figura 5 demonstra o sistema de testes montado.



Figura 5 - Sistema de Testes Montado

4.1 Primeiro Ensaio

No primeiro teste, uma mala de testes CE-6710 foi utilizada para enviar até 10 MUs, no formato da 9-2LE, e até 9 MUs, no formato da IEC 61869-9, em uma porta do Switch com a rede configurada em 100Mb/s. Em uma segunda porta do Switch, foi utilizado o software MultimSV para monitorar se foi possível ler todas as MUs enviadas. A Figura 6, abaixo, ilustra o esquema do primeiro ensaio.

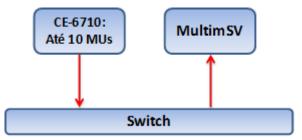


Figura 6 - Esquema do Primeiro Ensaio

As MUs foram enviadas, uma a uma, até atingir o limite de envio das MUs de acordo com a norma adotada. Cada vez que uma MU era adicionada, todas as anteriores eram verificadas com o MultimSV através dos respectivos Sampled Values ID (svID), analisando se houve ou não perdas de pacotes SV, conforme ilustra a Figura 7 abaixo.

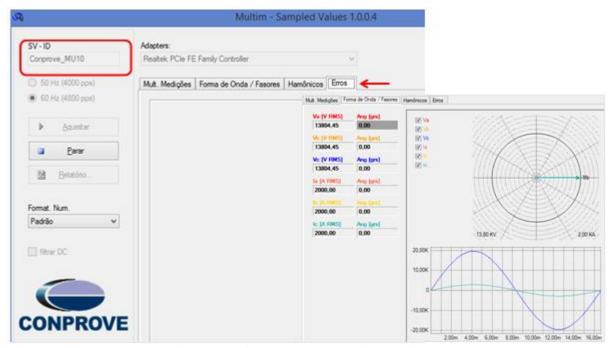


Figura 7 - Leitura das 10 MUs pelo MultimSV

Após a análise da leitura de todas as MUs pelo MultimSV, foi possível concluir que não houve perdas de pacotes, sendo que não foram registrados erros de recebimento dos frames SV de nenhuma MU, tanto pela 9-2LE quanto pela IEC 61869-9.

4.2 Segundo Ensaio

No segundo teste, duas malas de testes CE-6710 e uma CE-7024 foram utilizadas para enviarem até 30 MUs, no formato da 9-2LE, e até 27 MUs, no formato da IEC 61869-9, em três portas do Switch com a rede configurada em 100Mb/s. Em uma quarta porta do Switch, foi utilizado o software MultimSV para monitorar se foi possível ler todas as MUs enviadas. Para garantir a precisão da análise dos dados, os clocks das malas foram sincronizados pelo CE-GPS. A Figura 8, abaixo, ilustra o esquema do segundo ensaio.

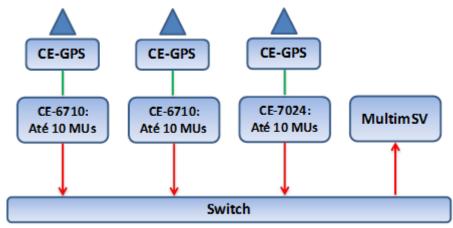


Figura 8 - Esquema do Segundo Ensaio

As MUs foram enviadas, uma a uma, até atingir o limite de envio das MUs de acordo com a norma adotada. Cada vez que uma MU era adicionada, todas as anteriores eram verificadas com o MultimSV através dos respectivos Sampled Values ID, analisando se houve ou não perdas de pacotes SV, conforme ilustra a Figura 9 abaixo.

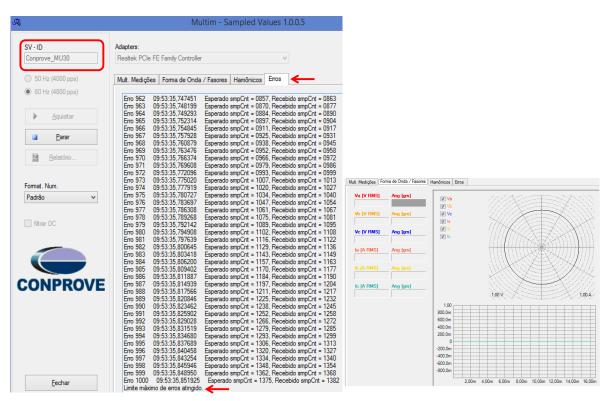


Figura 9 - Leitura das 30 MUs pelo MultimSV

Após a análise da leitura de todas a MUs pelo MultimSV, foi possível concluir que na 9-2LE as perdas de pacotes SV ocorreram com 18 MUs na rede, ocupando 86.4% de largura de banda da rede, ou seja 86.4Mb/s da rede de 100Mb/s. Já no teste com a IEC 61869-9, as perdas de pacotes ocorreram com 21 MUs na rede, ocupando 89.9% de largura de banda da rede, ou seja, 89.9Mb/s da rede de 100Mb/s.

Isso implica que, nessa configuração de ensaio utilizada em uma rede de 100Mb/s, o máximo de MUs possíveis de serem enviadas pela 9-2LE foi 17 MUs, para ocupar 81.6% de largura de banda da rede, e pela IEC 61869-9 foi 20 MUs, para ocupar 85.6% de largura de banda de rede.

Com esses dados, é possível deduzir que o tempo de latência do Switch Ruggedcom utilizado foi menor que os 4µs teóricos. Utilizando a Equação 1 deduzida no item 3, conclui-se que o tempo de latência real do

Switch foi de 2.25µs, aproximadamente. Sendo este motivo de ter sido possível, na prática, enviar mais que 14 MUs no formato da 9-2LE e 19 MUs no formato da IEC 61869-9.

4.3 Terceiro Ensaio

No terceiro teste, foi utilizado o mesmo esquema de teste do segundo ensaio, porém, separaram-se as portas do Switch, que receberam as três malas de teste, em três VLANs. Desta forma, cada mala de teste, com suas respectivas MUs, ficou em uma VLAN ID. Para realizar a análise das MUs no MultimSV, foram utilizadas outras três portas do Switch, cada uma pertencendo a uma VLAN configurada. Abaixo, a Figura 10 ilustra o esquema do terceiro ensaio.

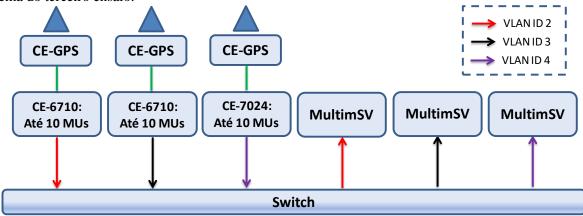


Figura 10 - Esquema do Terceiro Ensaio

Da mesma forma, as MUs foram enviadas, uma a uma, até atingir o limite de envio das MUs de acordo com a norma adotada. Cada vez que uma MU era adicionada, todas as anteriores eram verificadas com o MultimSV através dos respectivos Sampled Values ID, analisando se houve ou não perdas de pacotes SV, conforme ilustra Figura 11 abaixo.

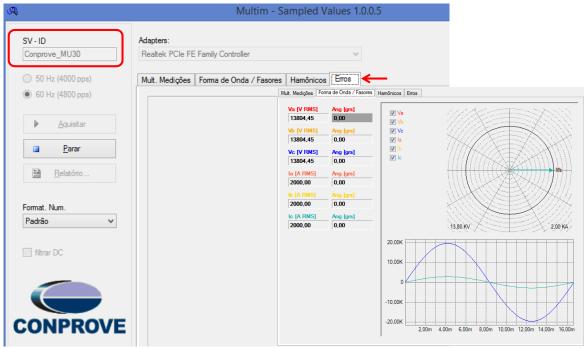


Figura 11 - Leitura das 30 MUs pelo MultimSV com VLAN

Após a análise de todas as MUs pelo MultimSV nas três portas do Switch separadas pelas VLANs, foi possível concluir que tanto na 9-2LE quanto na IEC 61869-9 não houve perdas de pacotes, pois não foram registrados erros de recebimento de nenhuma MU.

Portanto, mesmo o número de MUs enviadas sendo superior ao limite da rede, considerando o tempo de latência real do Switch de 2.25µs, de 17 MUs para a 9-2LE e 20 MUs para a IEC 61869-9, não houve perdas de pacotes SV. Logo, é possível afirmar que separar as MUs por VLANs permitiu potencializar a utilização da largura de banda da rede para o Process Bus.

4.4 Considerações de uma Rede 1Gb/s

A título de comparação e baseado na Equação 1 e na Equação 2 do item 3, pode-se fazer uma projeção do número máximo de MUs e a largura de banda total consumida em uma rede de 1Gb/s considerando o tempo de latência do Switch de 2.25μs. Para o caso da 9-2LE, o tempo de transmissão de um frame SV de 1000 bits seria de 1μs, logo o tempo total de envio seria de 3.25μs. Considerando que um frame SV deve ser enviado a cada 208.33μs por MU, o máximo de MUs que uma rede de 1Gb/s suportaria, no caso da 9-2LE, seria 64 MUs, ocupando apenas 30.07% da largura de banda, ou seja, 307.2Mb/s da rede de 1Gb/s. Já no caso da IEC 61869-9, o tempo de transmissão de um frame SV de 1784 bits seria de 1.78μs, logo o tempo total de envio seria de 4.03μs. Considerando que um frame deve ser enviado a cada 416.67μs por MU, o máximo de MUs que uma rede de 1Gb/s suportaria, no caso da IEC 61869-9, seria 103 MUs, ocupando apenas 44.1% da largura de banda, ou seja, 441Mb/s da rede de 1Gb/s.

5 CONCLUSÃO

Com os resultados deste trabalho foi possível explorar os limites da transmissão de dados no Barramento de Processos, verificando o comportamento da rede e analisando as larguras de banda utilizadas em diversas situações tanto no universo da IEC 61850-9-2LE quanto da IEC 61869-9.

Um equacionamento foi deduzido para calcular tanto o número máximo de Merging Units quanto a largura de banda consumida na rede, permitindo uma melhor análise do consumo da rede pelo Process Bus e otimizar o uso da largura de banda disponível. Assim, foi possível demonstrar que, considerar somente a largura de banda da rede para calcular o número máximo de MUs que o Barramento de Processos suporta, pode levar a resultados equivocados, pois variáveis importantes como o período de transmissão entre os frames SV e o tempo de latência do Switch, também devem ser levadas em consideração.

6 REFERÊNCIAS BILBIOGRÁFICAS

- [1] Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2 UCA International Users Group -01/03/2004.
- [2] Ruggedcom RS940G Technical Data, https://support.industry.siemens.com.
- [3] Norma IEC 61850-9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM) Sampled Values over ISO/IEC 8802-3.
- [4] Norma IEC 61869-9: Digital Interface for Instrument Transformers.
- [5] 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 Pereira Junior, P. S.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E.; Martins, C. M; Rosa, R. R.. XI Seminário Técnico de Proteção e Controle STPC, Novembro de 2012.
- [6] Pereira Junior P. S., Martins C.M., Rosa R. R., Pereira P. S., Lourenço G. E. "A New Approach for Test in Substation with Entire Application of IEC 61850 Including the Process Bus". Paper N0 108 CIGRE B5 colloquium 2013, Belo Horizonte.