

AB/YY

CONFINAMENTO DE MENSAGENS GOOSE E REDUNDÂNCIA APLICADA EM PLANTA INDUSTRIAL DA VALE ITABIRA MG

Paulo Henrique V. Soares (*)
Vale SA

Marcos Dornelas
UNIFEI

Gil Amaral
Vale SA

Keli C. S. Antunes
UNIFEI

Gilberto Vieira
Vale SA

Vicentino Rodrigues
Vale SA

Paulo Márcio
UNIFEI

Carlos Villegas
UNIFEI

Ricardo Feltre
ABB

SUMÁRIO

Os dispositivos dotados de placa de rede possuem um *MAC Address* atribuído à mesma. O número *MAC* deve ser único no mundo e é composto por uma sequência de 6 conjuntos de números hexadecimais (xx-xx-xx-xx-xx-xx). O protocolo de comunicação *GOOSE* (*Generic Object Oriented Substation Event*), previsto na Norma IEC 61850, são dotados de *MAC Address* virtuais. Sempre que o controle desses *MAC Address* não é levado em consideração, por inobservância ou desconhecimento durante etapa de engenharia e comissionamento, a chance de o *MAC* repetir é grande. Os desenvolvimentos dos arquivos de comunicação, por questões de tempo, infraestrutura, entre outros, são realizados em mais de um computador. Caso a duplicidade do *MAC Address* ocorra, e os IEDs assinantes estejam na mesma rede de comunicação, sempre que uma mensagem for publicada com este *MAC*, os assinantes farão uso da informação podendo resultar em uma operação indevida.

Neste contexto, com a presença de vários equipamentos em funcionamento, diversas soluções foram levantadas buscando mitigar a probabilidade de ocorrência de um evento indesejável na planta devido à possível duplicidade de *MAC Address*. Uma delas seria refazer todos os arquivos de comunicação, sendo este um trabalho relativamente árduo considerando o parque instalado. Outra possibilidade seria realizar a segregação da rede das subestações, porém isso demandaria a alteração da faixa de IP no *switch layer 3* da rede, a reprogramação de todos os *switches* e intervenção nos servidores OPC do sistema de automação da subestação.

Este trabalho visa apresentar a solução de confinamento da mensagem *GOOSE* como uma opção factível de ser implementada em uma planta industrial em operação. Mostrar como é feita a atribuição de uma *VLAN* (rede virtual) específica aos *dataset* *GOOSE* e, por meio de configurações realizadas no *script* de programação do *switch*, criar regras para evitar que essas mensagens saiam de dentro da subestação, permanecendo, assim, confinadas naquele ambiente.

Por fim, será mostrada uma melhoria na solução inicial do confinamento visto que, caso a conexão entre os *switches* (porta giga) da subestação rompesse, ocorreria um ilhamento de parte dos equipamentos, impactando na comunicação entre os IEDs. Para solucionar esse problema, uma medida simples, porém perspicaz é proposta e será detalhada neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE

IEC61850, IED, GOOSE, *MAC Address*, *VLAN*, Confinamento

1.0 - INTRODUÇÃO

Publicada em 2003 pela *International Electrotechnical Commission* (IEC), a norma IEC 61850 - *Communication Networks and Systems in Substations* nasceu da necessidade de se padronizar a comunicação entre dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs – *Intelligent Electronic Devices*) utilizados na automação de sistemas elétricos. Fundamentada na união de dois projetos, *The Utility Communication Architecture* (UCA) 2.0 e a IEC 60970-5-103, esta norma proporcionou a liberdade de configuração, redução de custo com fiação e interoperabilidade entre dispositivos [1].

O sistema de automação de subestações (SAS) aqui apresentado é baseado na norma IEC61850 e possui como objetivos reduzir a exposição do operador aos riscos da manobra local, possibilitar análises remotas de atuações e concentrar em uma base única todos os alarmes e eventos do sistema elétrico de potência (SEP) [2].

(*) Serra do Esmeril – Mina Conceição, s/nº – sala única - Bloco 4 – CEP 35.900-000 Itabira, MG – Brasil
Tel: (+55 31) 3839-5003 – Fax: (+55 31) 3839-5003 – Email: paulo.vieira.soares@vale.com

2.0 - AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES APLICANDO A NORMA IEC 61850

A norma IEC 61850 estabelece a comunicação entre dispositivos do Barramento de Estação do SAS através de dois protocolos. O protocolo de comunicação GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) é utilizado para troca de mensagens críticas entre os IEDs (comunicação horizontal), por sua vez o protocolo MMS (*Manufacturing Message Specification*) possui como finalidade a troca de mensagens não críticas entre os IEDs e o sistema supervisório (comunicação vertical).

2.1 Comunicação

A comunicação horizontal entre dispositivos é feita via mensagem GOOSE para eventos críticos como intertravamento, envio de sinais de atuação (*trip*) e seletividade lógica. A seletividade lógica via GOOSE permite menores intervalos de coordenação e menores tempos de atuação [3],[4]. Como as mensagens GOOSE trafegam em pacotes denominados *dataset* e cada pacote possui um endereço *MAC Address*, uma possível falha no gerenciamento destes endereços MAC pode vir a comprometer a comunicação entre os IEDs, impossibilitar o envio e recepção de sinais de seletividade lógica ou, em casos mais extremos, provocar ações indevidas em equipamentos que não estavam mapeados para receber a informação.

2.1.1 Mensagens GOOSE

A Norma IEC 61850 apresenta, no capítulo 5, os tipos de mensagens rápidas chamadas de tipo 1. Estas mensagens são utilizadas para: “*Trip*”, “*Close*”, “*Reclose order*”, “*Start*”, “*Stop*”, “*Block*”, “*Unblock*”, “*Trigger*”, entre outras funções. Assim, o IED assinante destas mensagens deve agir imediatamente ao recebê-las [5]. A mensagem tipo 1 se divide em 1A “*Trip*” e 1B “outros”. O *Trip* é a mensagem rápida mais importante na subestação, por isso os requisitos de tempo são mais exigentes, mesmo quando comparado com outras mensagens rápidas definidas pela norma.

Quando uma mensagem GOOSE é gerada ou publicada pelo IED (servidor IEC 61850), usa-se uma transmissão de camada 2 (modelo OSI) no envio do evento para a rede. Os dispositivos receptores, conhecidos como assinantes, assinam o endereço *multicast* da mensagem para poder filtrar rapidamente as informações e executar as tarefas necessárias.

A Figura 1 representa o mecanismo de transmissão dos pacotes GOOSE. É possível observar que, após mudança de valor do sinal de *Trip*, que passou de “zero” para “um”, ocorre o envio de várias mensagens GOOSE para a rede. Essas mensagens são espaçadas com menor intervalo de tempo (T_{min}) e o valor da diferença é dobrado até que a mensagem volte a ser publicada com o máximo tempo (T_{max}) configurado no IED [6].

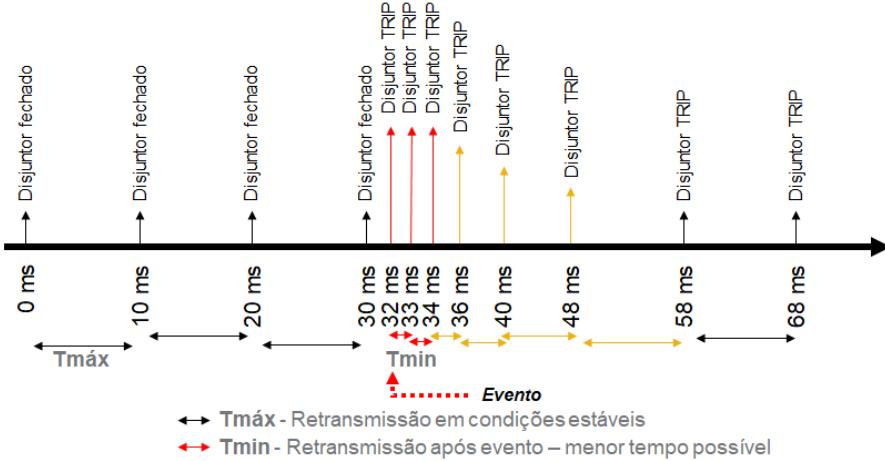


FIGURA 1 - Mecanismo de transmissão dos pacotes GOOSE

2.1.2 Frame GOOSE

Na Figura 2, o *frame* ou quadro de informações GOOSE é descomposto em suas frações. É possível visualizar que o GOOSE é formado resumidamente pelo *MAC Address* de destino, *MAC Address* da fonte, o *TPID* que é o código de identificação da mensagem GOOSE, e o *Payload* que é a mensagem a ser

transmitida. Expandindo a mensagem é possível encontrar a seção GOOSE PDU. Esta seção é composta por: gocbRef, que é o nome do *report* que o IED está publicando na rede; TAL é o *time allowed to live*; DataSet Name é o nome do pacote de informações que foi criado e configurado no IED para publicação; goID é uma identificação da mensagem GOOSE; os parâmetros t, stNum e sqNum são o horário de publicação da mensagem, o número do evento ocorrido e o número de repetição da mensagem na rede, respectivamente. Dentro do PDU ainda aparecem outras informações, sendo que a informação da revisão da mensagem (confRev) demanda atenção especial, pois é fundamental para garantia da comunicação entre os dispositivos.

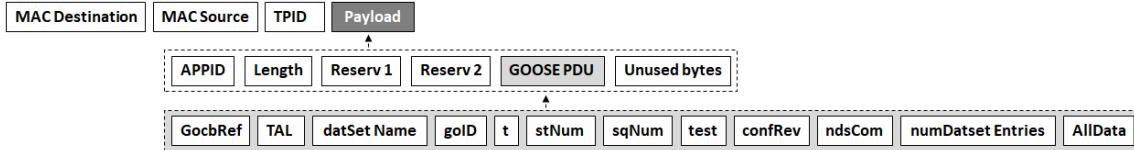


FIGURA 2 - Composição do *frame* GOOSE

2.1.3 MAC Address

Todos os dispositivos dotados de placa de rede possuem um *MAC Address* atribuído à mesma. O número *MAC* deve ser único no mundo e é composto por uma sequência de 6 conjuntos de números hexadecimais (xx-xx-xx-xx-xx-xx). As informações (*Logical Nodes - LN*), a serem enviadas na rede pelos IEDs, são agrupadas nos *dataset*. Cada *dataset* GOOSE criado possui um *MAC Address* virtual atribuído pelo programa do fabricante (ou pelo usuário) e definido dentro de uma faixa estabelecida pela norma IEC 61850.

2.1.4 Switches L2 e L3

Os *switches* são equipamentos com a finalidade de conectar dispositivos ou *Host*. Diferente dos *Hubs* que atuam apenas com replicação de informação, limitados à camada 1 do modelo OSI (*Open System Interconnection*), os *switches* atuam na camada 2, utilizando o *MAC Address* para referenciar e diagnosticar equipamentos conectados a estes [7].

Um dos usos básicos dos *switches L2* é a conexão de grupos de equipamentos e segmentação de rede. Porém a camada 2 apresenta limitações, como o tráfego entre diferentes redes. Essas limitações podem ser contornadas com o uso de roteadores, equipamentos que atuam na camada 3 e possibilitam a troca de pacotes de informações entre redes distintas (*switches L3*) [8].

2.1.5 VLANs

Em termos gerais as redes de computadores restritas a um local físico são conhecidas como LAN (*Local Area Network*). Uma rede local virtual, normalmente denominada de VLAN (*Virtual Local Area Network*), é uma rede logicamente independente. Em um *switch* podem existir várias VLANs, de forma a dividir uma rede local (física) em mais de uma rede (virtual), criando domínios de broadcast separados.

2.2 Aquitetura de rede

Na Figura 3 é ilustrada uma arquitetura genérica da rede presente no sistema de automação de subestações Itabira (SAS Itabira). A comunicação horizontal é realizada através do protocolo GOOSE entre os IEDs e os controladores. Os controladores, por meio do cartão de interface específico, intermedian a comunicação entre os dispositivos de campo e a IHM (Interface Humano Máquina) através da rede de controle, permitindo ao usuário da IHM ter acesso às informações do sistema através de um diagrama unifilar da subestação. Os controladores e os IEDs podem também ser operados remotamente através do servidor de conectividade, por meio do protocolo MMS, realizando a comunicação entre níveis diferentes do sistema, sendo classificada também como comunicação vertical. [9].

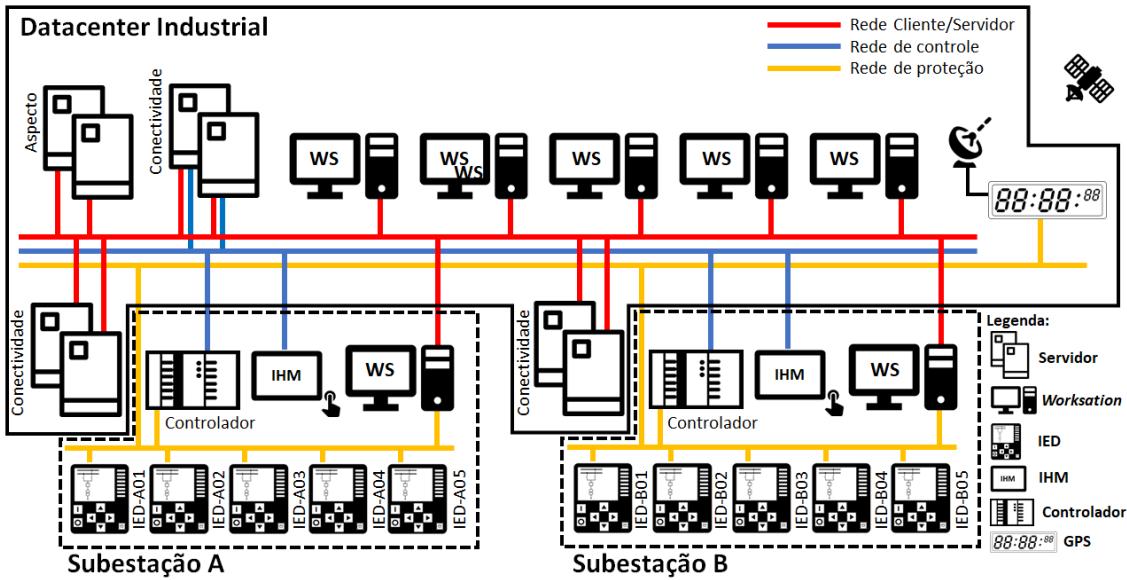


FIGURA 3 - Arquitetura de rede do sistema de automação

2.2.1 Rede Cliente/Servidor

Na rede Cliente/Servidor trafegam as informações do SAS que são resultado da comunicação entre os Servidores de Aspecto e os demais computadores do sistema, como estações de operação e engenharia (workstation). Os Servidores de Aspecto são os responsáveis pelo armazenamento de toda a base de dados do sistema de automação. Os Servidores de Conectividade são responsáveis por realizar a interface e conexão com outros protocolos de comunicação. No sistema, ilustrado na Figura 3, são utilizadas duas redes de campo: a Rede de Controle, para comunicação com os controladores do sistema; e a rede IEC 61850 (Rede de Proteção), para comunicação de todos os IEDs da planta.

2.2.2 Rede de Controle

Nesta rede trafegam as informações em nível de controle, entre os controladores da planta, bem como a interface com as telas de IHM. É na Rede de Controle que trafegam as informações que os controladores recebem dos IEDs via GOOSE e encaminham para as telas de IHM.

2.2.3 Rede IEC 61850

Na rede IEC 61850 ocorre a comunicação entre os IEDs, entre o controlador e entre o servidor de conectividade OPC IEC 61850. As três redes acima baseiam-se na camada física Ethernet, e sua velocidade pode variar de acordo com a aplicação.

3.0 - ESTUDO DE CASO

Em 2015, entrou em operação uma planta de beneficiamento que acaba de ser adequada. Durante essa etapa, os 180 motores de média tensão foram contemplados com IEDs que utilizam os protocolos da IEC 61850.

3.1 Confinamento de mensagens GOOSE

Esse novo cenário de motores acionados por IEDs em ethernet é ilustrado na Figura 4. À direita da imagem tem-se o diagrama unifilar, onde é possível visualizar seis IEDs. Os IEDs de motores (IED-04, 05 e 06) estão configurados para comunicar com o IED presente na entrada do barramento de 4.16 kV (IED-03). Este por sua vez comunica com o IED a montante (IED-02), que está presente no alimentador de 13.8kV. Por fim, o IDE do alimentador de 13.8kV comunica com o IED de entrada do barramento de 13.8kV (IED-01).

Para evitar o tráfego indesejado de mensagens GOOSE entre subestações e um possível desligamento indesejável, foi estudada e implementada a configuração para confinamento de mensagens GOOSE dentro da subestação, através da aplicação de VLANs. Inicialmente a VLAN das mensagens GOOSE foi definida como sendo a VLAN 101. Como mostra a Figura 5, nas portas de entrada (SW-05) e saída (SW-01) foi permitido o tráfego apenas da VLAN de gerenciamento (10) e da VLAN MMS (100). Nas portas que interligam os switches, além da VLAN 10 e 100 foi permitida a passagem da VLAN GOOSE (101).

Observa-se que as portas verdes permitem o tráfego das VLAN 100 e 101. Como as mensagens MMS são *untagged* (sem VLAN), ao chegar um pacote MMS na porta do switch que possui como configuração nativa a VLAN 100, esse número é impresso no pacote. Dessa forma, qualquer pacote *untagged* passa a ser tagueado com a VLAN 100.

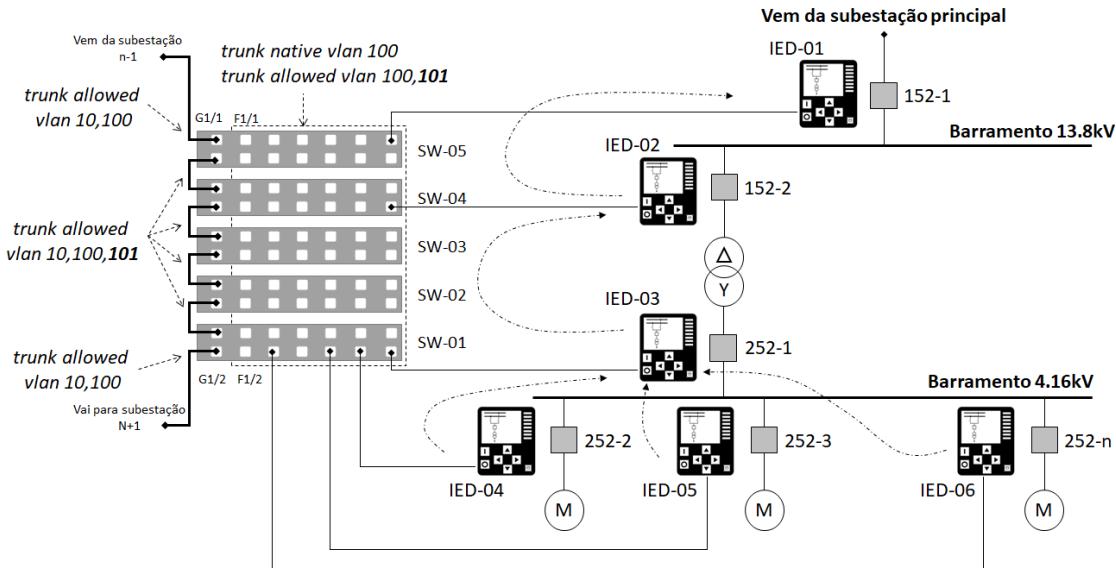


FIGURA 4 - Arquitetura dos IEDs conectados à rede

A solução de confinamento GOOSE é de simples entendimento e de fácil aplicação, porém, caso a fibra ótica que interliga o SW-05 com o SW-04 venha a romper, o esquema de seletividade lógica será afetado uma vez que não é mais possível que as mensagens GOOSE saiam da subestação.

3.2 Redundância do confinamento de mensagens GOOSE

A redundância de comunicação GOOSE pode ser vista na Figura 5 onde o caminho principal é da porta GIGA 1/2 do SW-05 (SW-05.G1/2) com a porta GIGA 1/1 do SW-04 (SW-04.G1/1). Já o caminho redundante é feito da porta FAST 1/5 do SW-05 (SW-05.F1/5) com a porta FAST 1/5 do SW-04 (SW-04.F1/5). Considerando que, para a infraestrutura existente, todas as configurações dos switches estão conforme a seguir: *link* principal e redundante ativo entre os switches 05 e 04; IEDs AA0K1Q02FP1, AA0K1Q02FP2, AA0K1Q02FP3 conectados em portas com VLAN 100 nativa e que permitem a passagem da VLAN 101 (GOOSE). Serão testados 3 cenários, sendo os dois primeiros para verificar o confinamento das mensagens GOOSE e o terceiro a redundância de link de comunicação entre switches.

Cenário 01: Datasets dos IEDs AA0K1Q02FP1, AA0K1Q02FP2, AA0K1Q02FP3 sem configuração de VLAN (*untagged*). Será verificado na porta SW-05.G1/1 se o confinamento das mensagens GOOSE foi efetivo e bloqueou a saída dos pacotes.

Cenário 02: Datasets dos IEDs AA0K1Q02FP1 e AA0K1Q02FP2 com configuração de VLAN (101) e os datasets do AA0K1Q02FP3 sem configuração de VLAN (*untagged*). Será verificado na porta SW-05.G1/1 se o confinamento das mensagens GOOSE foi efetivo e bloqueou a saída dos pacotes.

Cenário 03: Seguindo a condição do cenário 02, porém a verificação da presença de mensagens GOOSE agora será feita na porta SW-05.F1/3. No primeiro momento o *link* principal SW-05.G1/2 → SW-04.G1/1 e o *link* redundante SW-05.F1/5 → SW-04.F1/5 estarão conectados. Na sequência, o *link* principal será aberto de forma a verificar se a comunicação permanece pelo *link* redundante.

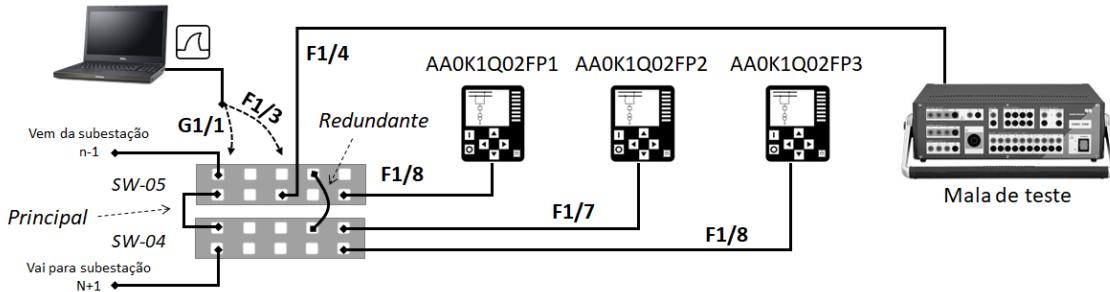


FIGURA 5 – Redundância de comunicação GOOSE

3.3 Configuração da comunicação

Para testar o funcionamento da redundância, foram configurados nos três IEDs, conforme Figura 6, *datasets* (1) contendo *logical nodes* de proteção. Esses *datasets* foram atribuídos a um GOOSE *control block* (2). Por fim, foram configurados dois clientes para cada IED (3), assim a publicação será vista por todos dispositivos da rede, neste caso dois dispositivos.

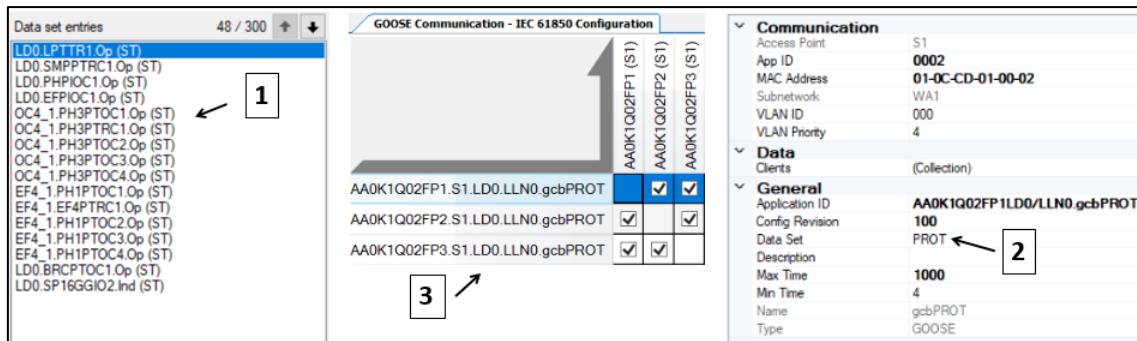


FIGURA 6 – Configuração da comunicação GOOSE

3.4 Testes e simulações

A seguir são apresentados os resultados para os 3 cenários, sendo no cenário 1 e 2 avaliado o funcionamento d o confinamento das mensagens GOOSE e no cenário 3 a redundância de link de comunicação entre switches.

3.4.1 Cenário 01

Com o computador conectado em SW-05.G1/1 é possível perceber a presença de mensagens GOOSE saindo da subestação. Esse fato ocorre, pois o parâmetro VLAN ID está com valor 000, ficando a mensagem *untagged*. Assim, quando o pacote GOOSE chegar na porta que é nativa VLAN 100, recebe essa identificação, permitindo que o mesmo saia da subestação. Na Figura 7 ilustra a presença do pacotes fora da subestação.

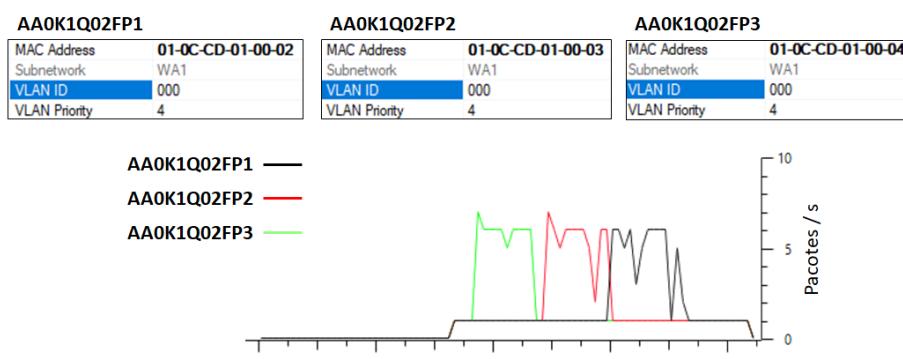
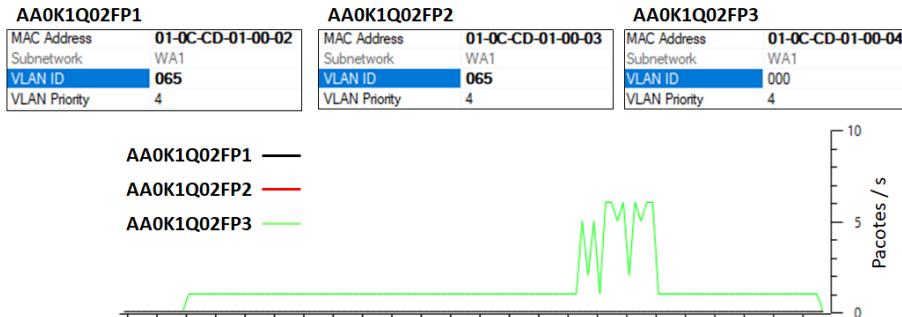


FIGURA 7 – Mensagens GOOSE com VLAN ID 000 saindo da subestação

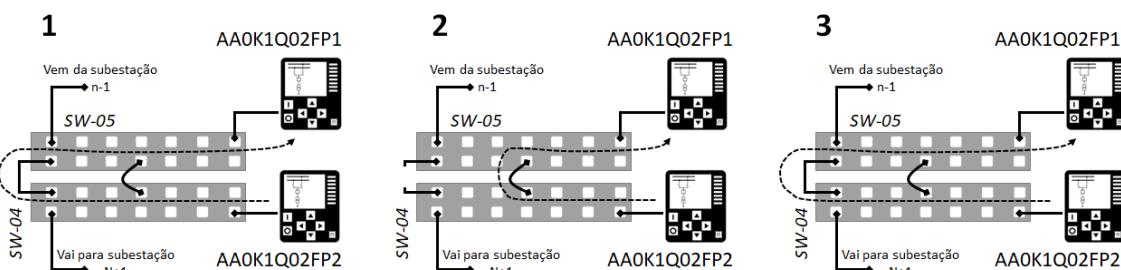
3.4.2 Cenário 02

Configurando o campo VLAN ID do IED AA0K1Q02FP1 e AA0K1Q02FP2 para VLAN 101 (65 em hexadecimal) e mantendo AA0K1Q02FP3 com VLAN 000, é possível visualizar que neste cenário apenas mensagens GOOSE enviadas pelo AA0K1Q02FP3 saem da subestação, como mostra a Figura 8.

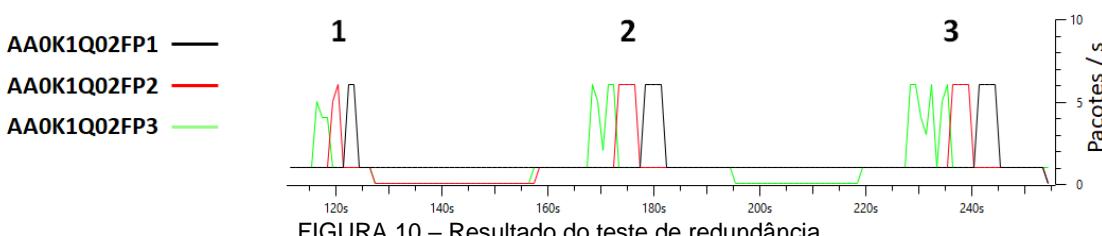


3.4.3 Cenário 03

Na Figura 9 são apresentadas as sequências de testes realizados. Primeiro os dois *links* (principal e redundante) estão conectados (1), logo após o *link* principal é aberto (2) e, por fim, o *link* principal é recomposto (3).



A Figura 10 mostra os resultados dos testes. É possível visualizar que a comunicação ocorreu tanto pelo *link* principal quanto pelo *link* redundante. Um ponto de atenção se deve às lacunas de comunicação que ocorreram durante o tempo de comutação entre os *links*.



Os *switches* foram configurados para trabalhar com o protocolo de redundância *spanning-tree*. O STP (*Spanning Tree Protocol*) opera na camada 2 e permite que os *switches* reconheçam a existência dos “vizinhos”. Os *switches* trocam informações e o algoritmo STP elege um ponto de referência de forma a definir um caminho livre de loops e os caminhos redundantes. Ao romper o caminho principal, o processo de comutação para o caminho redundante é iniciado. Neste caso o STP passa por algumas etapas (*Listening, Learning*) sendo que esse tempo total de comutação é próximo de 50s, conforme foi ilustrado anteriormente.

3.5 Envio de sinal de Trip

Para finalizar, foram realizados testes de atuação da proteção de sobrecorrente temporizada utilizando mensagens GOOSE pelo *link* principal (Figura 11) e pelo *link* redundante (Figura 12). Em ambos os casos os resultados foram satisfatórios.

Teste de Pick-up/Drop-off Teste da Característica Falta Trigger Saída binária													
Tipo:	A-B-C	Estado	Tipo	Relativo A	Fator	Magnitude	Ângulo	t _{nom}	t _{min}	t _{max}	t _{tatural}	Desvio	Reportar Sinal de
Relativo a:	---			(...)	n/d	26,00 A	n/d	718,1 ms	612,4 ms	836,1 ms	816,6 ms	13,72 %	<input type="checkbox"/>
Fator:	n/d			(...)	n/d	26,50 A	n/d	703,1 ms	599,7 ms	818,6 ms	793,3 ms	12,82 %	<input type="checkbox"/>
Magnitude:	...0 A			(...)	n/d	27,00 A	n/d	688,8 ms	587,5 ms	801,8 ms	783,1 ms	13,69 %	<input type="checkbox"/>
Ângulo	n/d			(...)	n/d	27,50 A	n/d	675,0 ms	575,8 ms	785,7 ms	766,1 ms	13,5 %	<input type="checkbox"/>
t _{nom} :	613,6 r			(...)	n/d	28,00 A	n/d	661,8 ms	564,6 ms	770,2 ms	752,7 ms	13,74 %	<input type="checkbox"/>
t _{min} :	523,7 r			(...)	n/d	28,50 A	n/d	649,0 ms	553,8 ms	755,3 ms	726,5 ms	11,93 %	<input type="checkbox"/>
t _{max} :	713,9 r			(...)	n/d	29,00 A	n/d	636,8 ms	543,4 ms	741,0 ms	704,6 ms	10,65 %	<input type="checkbox"/>
				(...)	n/d	29,50 A	n/d	625,0 ms	533,4 ms	727,2 ms	706,0 ms	12,96 %	<input type="checkbox"/>
				(...)	n/d	30,00 A	n/d	613,6 ms	523,7 ms	713,9 ms	697,8 ms	13,72 %	<input type="checkbox"/>

FIGURA 11 – Teste função 51 – *Link* principal

Teste de Pick-up/Drop-off Teste da Característica Falta Trigger Saída binária													
Tipo:	A-B-C	Estado	Tipo	Relativo A	Fator	Magnitude	Ângulo	t _{nom}	t _{min}	t _{max}	t _{tatural}	Desvio	Reportar Sinal de
Relativo a:	---			(...)	n/d	26,00 A	n/d	718,1 ms	612,4 ms	836,1 ms	807,2 ms	12,41 %	<input type="checkbox"/>
Fator:	n/d			(...)	n/d	26,50 A	n/d	703,1 ms	599,7 ms	818,6 ms	792,0 ms	12,64 %	<input type="checkbox"/>
Magnitude:	...0 A			(...)	n/d	27,00 A	n/d	688,8 ms	587,5 ms	801,8 ms	784,4 ms	13,88 %	<input type="checkbox"/>
Ângulo	n/d			(...)	n/d	27,50 A	n/d	675,0 ms	575,8 ms	785,7 ms	756,6 ms	12,09 %	<input type="checkbox"/>
t _{nom} :	613,6 r			(...)	n/d	28,00 A	n/d	661,8 ms	564,6 ms	770,2 ms	752,7 ms	13,74 %	<input type="checkbox"/>
t _{min} :	523,7 r			(...)	n/d	28,50 A	n/d	649,0 ms	553,8 ms	755,3 ms	737,3 ms	13,6 %	<input type="checkbox"/>
t _{max} :	713,9 r			(...)	n/d	29,00 A	n/d	636,8 ms	543,4 ms	741,0 ms	711,5 ms	11,73 %	<input type="checkbox"/>
				(...)	n/d	29,50 A	n/d	625,0 ms	533,4 ms	727,2 ms	710,8 ms	13,73 %	<input type="checkbox"/>
				(...)	n/d	30,00 A	n/d	613,6 ms	523,7 ms	713,9 ms	703,1 ms	14,58 %	<input type="checkbox"/>

FIGURA 12 – Teste função 51 – *Link* redundante

3.6 Aplicação em campo

A princípio, o confinamento GOOSE foi implementado em 11 subestações, sendo uma de 69 kV e as demais de 13.8 kV, durante a etapa de comissionamento. Essa solução opera desde de 2016 e todas as análises realizadas pela equipe de automação e TELECOM atestam a ausência de mensagens GOOSE fora das subestações confinadas.

O trabalho nas 11 subestações contemplaram a programação de 52 *switches* na topologia anel. Cada *switch* possui 8 portas ópticas e 8 portas metálicas *fast ethernet*, sendo essas utilizadas para conectar os 313 IEDs presentes na planta. Além da configuração das 936 portas (18 por *switch*), foram configurados cerca de 939 *datasets* com a VLAN ID de confinamento GOOSE (média de 3 *datasets* por IED). Cerca de 60% dos IEDs são aplicados em acionamento de motores elétricos de 4,16 kV e o restante em alimentadores de 4.16 kV, 13.8 kV e 69 kV.

Como medida de segurança, foi definida uma VLAN de confinamento GOOSE diferente para cada uma das três plantas de beneficiamento existentes em Itabira. Assim, caso ocorrese o efeito citado no item 3.4.2 (*dataset* com VLAN ID *untagged*), este seria restrito a cada planta. Na sequência, a replicação do confinamento GOOSE ocorreu em mais 5 subestações envolvendo 109 IEDs.

Em 2018, foi adicionando ao SAS a subestação mais recente seguindo as definições de rede existentes. Durante etapa de comissionamento foi possível notar um fato inusitado, onde um IED de alimentador de transformador de potência recebeu uma mensagem GOOSE que provocou a abertura do disjuntor. Ao analisar os arquivos de configuração dos IEDs e a programação dos *switches*, nada foi encontrado.

Para analisar o tráfego de rede, um *sniffer* (analisador de pacotes) foi inserido na rede e permaneceu até a ocorrência do próximo evento. Ao avaliar as informações, foi possível perceber a presença de mensagens GOOSE entrando na subestação, porém essas mensagens tinham como origem IEDs de uma subestação próxima e não possuíam os mesmos MAC Address presentes na subestação onde ocorreu o evento.

Ao confrontar os pacotes existentes na rede com o horário do evento, foi verificado que um determinando *dataset*, possuia MAC Address diferente dos existentes na subestação, porém o APPID era o mesmo. Assim, descobriu-se, em campo, que esse IED faz uso apenas do APPID e não do frame GOOSE completo. Todos os APPID da nova subestação foram trocados, testes realizados e o evento não voltou mais a se repetir.

Em 2019, discursões internas sobre SAS, seletividade lógica e rede de comunicação aplicadas a novos projetos, “acendeu” o alerta sobre a melhoria necessária no confinamento de mensagens GOOSE para garantir a redundância de comunicação. Testes foram realizados simulando o rompimento da conexão entre os switches para diversas configurações nas portas *gigabit Ethernet* e *fast Ethernet*. A implementação foi realizada em uma subestação e sua replicação será feita no segundo semestre, seguindo o calendário de parada da planta, possibilitando testar e validar subestação a subestação.

4.0 - CONCLUSÃO

A chegada da IEC61850 ao acionamento de motores de média tensão, resultou em uma maior preocupação com possíveis eventos indesejáveis por duplicidade de *MAC Address* na rede dos IEDs. Visando obter a melhor solução para esta condição, o trabalho apresentou uma arquitetura simples e possível de ser implementada para o cenário atual do SAS Itabira.

O confinamento de mensagens GOOSE evita que pacotes GOOSE saiam da subestação somente nos casos em que o pacote possui a VLAN de confinamento configurada no parâmetro VLAN ID. Caso os pacotes estejam sem essa configuração, receberão o tag nativo da porta do switch e, como consequência, esta informação será enviada para outra subestação.

A configuração de bloqueio da VLAN GOOSE (101), nas portas de entrada e saída do switch, impede a saída da mensagem GOOSE, porém não impede a entrada de mensagens GOOSE que possam vir por outra VLAN ou pela VLAN nativa da porta (VLAN MMS).

Faixas de redes diferentes são mecanismos naturais de restrição de mensagens GOOSE. Para os casos em que a faixa de rede abrange duas ou mais subestações e a circulação de pacotes entre elas não se faz necessária, o bloqueio da VLAN GOOSE na entrada e saída da subestação pode ser uma das soluções.

Esse formato de confinamento de mensagens GOOSE vem sendo utilizado a mais de 3 anos na planta. Devido a sua confiabilidade em bloquear os pacotes GOOSE, por meio de configuração nas portas do switch, esse desenho se tornou padrão para novos projetos.

A fragilidade existente, provocada por uma falha de comunicação entre os IEDs devido ao rompimento do link principal entre os switches da subestação, foi levantada, estudada e resolvida conectando-se os switches por meio das portas fast, servindo de redundância para as mensagens GOOSE.

Os tempos de chaveamento entre o link principal e o link redundante são considerados altos, pois atingem dezenas de segundos. No entanto, após a comutação, a comunicação pelo link redundante apresenta desempenho satisfatório para troca de mensagens GOOSE. Assim, desde que o link não rompa durante um evento de falta, por exemplo, o esquema de proteção não será afetado.

Com isso, o confinamento das mensagens GOOSE e a redundância entre os switches se tornaram uma solução robusta e aplicável ao processo industrial da empresa em Itabira. A configuração física e lógica da rede garantem um índice zero de eventos indesejáveis na planta devido a possibilidade de duplicidade de *MAC Address* virtuais.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEC 61850-7-1: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Principles and models, 2003.
- [2] FREITAS, L.C.V.; SOARES, P.H.V; Automação de subestações de 13.8kV a 230kV baseada na norma IEC61850 na planta de beneficiamento de minério de ferro da Vale em Itabira-MG. ISA ES, 2014.
- [3] KUFFEL, R.; OUELLETE, D.; FORSYTH, P. Real Time Simulation and Testing Using IEC 61850. Modern Electric Power Systems. Canada, 2010.
- [4] ANTUNES, K. C. S.; BORGES, L. B.; COELHO, A. L. M.; PASSOS, F. O. Seletividade e Interoperabilidade Segundo a Norma IEC 61850. UNIFEI, Itabira, 2016.
- [5] IEC 61850-5: Communication requirements for functions and device models, 2003.
- [6] Becker, F.; Nohe, S.; Siemens, Echeverria, A. Designing Non-Deterministic PAC Systems to Meet Deterministic Requirements, 2015.
- [7] INTERSABERES, Editora (Org.). Redes [Livro Eletrônico], 1ª edição – Curitiba – InterSaberes, 2014
- [8] WEBB, Karen – Construindo redes Cisco usando comutação multilayered; São Paulo – Pearson Education do Brasil, 2003.
- [9] DE FREITAS, Luiz Carlos Vilar; MONACO, Henrique Leandro – Sistema Integrado de Automação de Subestações usando norma IEC61850 Aplicado na usina da Vale – Itabira, MG. ISA Brazil 2011.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



PAULO HENRIQUE VIEIRA SOARES – Aluno do programa de mestrado em Engenharia Elétrica na área de Proteção do Sistema Elétrico pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Possui graduação em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário do Leste de Minas (UNILESTE), é técnico em eletrônica pela Fundação Itabira Difusora de Ensino (FIDE). Professor de eletroeletrônica no SENAI Itabira de 2008 a 2010. Iniciou suas atividades na Vale como estagiário em 2008. Possui experiência na área de Eletrônica de Potência, Automação do Sistema Elétrico, Proteção do Sistema Elétrico e Norma IEC61850. Atualmente trabalha como engenheiro de automação na implantação de projetos pela Gerência de Automação Corredor Sudeste, é palestrante convidado do módulo 8 do Curso de Especialização em Proteção do Sistema Elétrico – CEPSE UNIFEI e membro do CIGRE Comitê de Estudos B5.1 Aplicações da Norma IEC 61850 – Sistemas de Automação Operando com Redes de Comunicação.