



Grupo de Estudo de Sistemas de Informação e Telecomunicação para Sistemas Elétricos-GTL

TELEPROTEÇÃO SOBRE MPLS-TP
CARACTERÍSTICAS, DEMANDAS, TESTES E CONSIDERAÇÕES

RAFAEL MOURA MOREIRA(1);
ABB(1);

RESUMO

De forma a termos uma visão geral sobre as tecnologias envolvidas na transmissão de sinais de teleproteção, comparamos os sistemas existentes em TDM e novos em Ethernet, com o intuito de analisarmos diversos aspectos e ponderarmos a viabilidade, baseado nas características criteriosas da transmissão deste tipo de sinais. Testes e estudos foram realizados para garantir a viabilidade técnica dessas integrações, além de analisarmos não somente as tecnologias empregadas e estudadas até o momento como também verificando novas possibilidades para a transmissão de sinais de teleproteção.

PALAVRAS-CHAVE

Teleproteção, Distância, Diferencial, Ethernet, MPLS-TP

1.0 - INTRODUÇÃO

Devido novidades tecnológicas, integração de sistemas, novas demandas e necessidades encontradas a cada dia em diversos mercados, atualizações estão sendo necessárias também no ambiente de Utilities, inclusive em sistemas tradicionais com características tão críticas como os sistemas de teleproteção em sistemas de subestações. Parte dessas atualizações estão por conta da possibilidade de integrar esses sistemas e transmitir os sinais através de redes ethernet, algo impensável a tempos atrás e que mesmo hoje necessitamos tratar adequadamente, justamente de forma a evitarmos ocorrências indesejáveis na malha de transmissão de energia elétrica.

2.0 - SISTEMAS TRADICIONAIS DE COMUNICAÇÃO DE SINAIS DE PROTEÇÃO DE DISTÂNCIA E DIFERENCIAL

Sistemas tradicionais como Ondas Portadoras sobre Linha de Alta Tensão / Power Line Carrier (OPLAT / PLC), ou Multiplexadores TDM (PDH e SDH), tradicionalmente foram e são utilizados para a transmissão de sinais de teleproteção de distância.

Comumente a proteção diferencial era realizada através da comunicação direta entre os equipamentos de proteção (comunicação relé-relé), sendo que esse conceito evoluiu de forma expressiva, permitindo a comunicação de proteção diferencial em linhas longas, através de sistemas de telecomunicações, podendo inclusive utilizar dos recursos de redundância e proteções nas transmissões de dados, existentes nesses sistemas.

Embora existam avanços nas formas como são realizadas essas comunicações como por exemplo na qualidade dos equipamentos utilizados e principalmente nas distâncias que podemos realizar essas comunicações

atualmente, o conceito relativo a forma de comunicação desses sinais manteve-se sem grandes evoluções, visto que se manteve a tecnologia já empregada em OPLAT / PLC e PDH / SDH.

2.1 Características dos Sinais de Teleproteção

Os sinais de teleproteção devem atender os requisitos de confiabilidade definidos na norma IEC 60834-1. Esta é a norma que rege as características dos sinais de teleproteção. Algumas dessas definições estão relacionadas na Figura 1.

Protection scheme	Maximum actual transmission time T_{90} ms		Channel quality		Noise duration T_E ms	Security P_{uo}		Dependability P_{mo}
	Analogue	Digital	Analogue S/N dB	Digital BER		Analogue	Digital	
Blocking	15	10	6	10^{-6}	Continuous	N/A	N/A	$<10^{-3}$
Blocking	15	10	Worst case		200	$<10^{-3}$	$<10^{-4}$	N/A
Permissive underreach	20	10	6	10^{-6}	Continuous or pulsed	N/A	N/A	$<10^{-2}$
Permissive underreach	20	10	Worst case		200	$<10^{-4}$	$<10^{-7}$	N/A
Permissive overreach	20	10	6	$<10^{-6}$	Continuous or pulsed	N/A	N/A	$<10^{-3}$
Permissive overreach	20	10	Worst case		200	$<10^{-3}$	$<10^{-7}$	N/A
Intertripping	40	10	6	$<10^{-6}$	Continuous or pulsed	N/A	N/A	$<10^{-4}$
Intertripping	40	10	Worst case		200	$<10^{-6}$	$<10^{-9}$	N/A

FIGURA 1 – Requisitos de confiabilidade conforme IEC 60834-1

A não observância dessas características na transmissão dos sinais de teleproteção pode vulnerabilizar o sistema elétrico, pois não garante a transmissão dos sinais de teleproteção adequadamente.

3.0 - EQUIPAMENTOS DE TRANSMISSÃO DE DADOS VIA ETHERNET

Com a evolução e integração das tecnologias, atualmente, diversos serviços que eram transmitidos através de sistemas TDM, foram migrados para sistemas Ethernet. No lugar da telefonia tradicional, hoje utilizamos voz sobre IP (VOIP). Os dados que eram transmitidos através de protocolos como RS-232, V.11, V.35, entre muitos outros, hoje também são transmitidos via ethernet. Com os sinais de teleproteção estamos fluindo para o mesmo conceito de evolução.

Entretanto devemos observar que os sinais de teleproteção devem respeitar características específicas deste tipo de serviço, pois ao tratar esses sinais como um tipo de dado trivial, podemos conviver com falhas, visto que um tempo de chaveamento de caminho na ordem de centenas de milissegundos é algo comum quando estamos trabalhando em ethernet. Latências na ordem de dezenas de milissegundos também é algo considerado até aceitável. Somado a tudo isso existe a característica natural de transmissão unidirecional existente em sistemas ethernet.

Quando trabalhamos com sinais de teleproteção, certas características consideradas normais em sistemas de transmissão Ethernet, necessitam ser adaptadas, para atender as necessidades e criticidades dos sinais de teleproteção. Isso significa que ferramentas devem ser utilizadas para garantir que o meio de transmissão proporcione a eficiência necessária para a teleproteção atuar satisfatoriamente sem ocorrência de falhas provenientes do sistema de comunicação utilizado.

3.1 Características dos Equipamentos

Essa evolução foi originada principalmente por fabricantes de equipamentos de telecomunicações, que atuam no mercado voltado a operadoras de telefonia, os quais naturalmente necessitam uma crescente quantidade de banda disponível, pois a demanda é sempre crescente para os serviços ofertados nesse mercado.

Como os equipamentos para esses serviços já estavam, de certa forma totalmente desenvolvidos, viu-se uma grande vantagem de aplica-los em sistemas de Utilities, já que a evolução nos dois mercados é em boa parte semelhante e possibilitaria uma capacidade e gama de serviços até então inviável de ser aplicada nos equipamentos existente.

A grande questão é que simplesmente mudar toda a tecnologia, sem integrar o que é existente nos sistemas instalados, acarreta uma imensa mudança em todos os equipamentos utilizados, pois nem sempre é possível realizar a devida integração, pois muitos desses novos equipamentos estão adaptados apenas para os novos serviços. Com isso o custo de implantação torna-se inviável.

Esse é um ponto que necessita ser sempre levado em consideração, pois ao alterar o sistema em um ambiente de operadora de telefonia / internet, ao mudar o equipamento, já se atualiza todo o conceito e o modo como comunica-se os dados, pois o serviço está diretamente integrado ao meio de comunicação.

Dentro do mercado de Utilities, esse conceito não pode ser totalmente refletido, visto que existem muitos outros sistemas que monitoram, controlam e protegem a geração, transmissão e distribuição de energia, os quais não estão diretamente integrados aos meios de comunicação assim como não tiveram necessariamente a mesma evolução, em relação a forma como os seus dados são transmitidos.

Justamente por conta disto, os meios de comunicação são quem devem ser adaptados aos serviços que irão transportar, de forma a não impactar na qualidade do serviço.

3.2 Conhecimento e Adaptação para a Nova Tecnologia

O manuseio destes novos equipamentos também é um importante fator a ser observado, uma vez que as correções no advento de uma falha devem ser realizadas o mais prontamente possível.

Diferentemente de um ambiente de operadora de telefonia, a qual dispõe de equipes operando em regime ininterrupto para a manutenção dos sistemas de telecomunicações, não é viável as concessionárias dispor de equipes operando dessa forma para monitorar apenas os sistemas de telecomunicações.

Justamente por conta disto, a manutenção, a análise de eventos, a correção de falhas e etc., devem ser o mais simples possível, pois equipes altamente especializadas demandam tempo para serem formadas e não são facilmente encontradas no mercado, o que pode deixar novos sistemas implantados expostos a intercorrências que não poderão ser tratadas nos devidos tempos.

4.0 - TRANSMISSÃO DE SINAIS DE TELEPROTEÇÃO VIA ETHERNET

Dentre os sinais de teleproteção transmitidos atualmente, podemos considerar de forma mais objetiva e simples, nos sinais de proteção de distância e proteção diferencial.

Sobre as diversas características que esses sinais necessitam para ser transmitidos adequadamente, podemos destacar algumas.

A proteção de distância, em relação ao meio de transmissão, requer:

- Alta disponibilidade do meio;
- Baixa latência;
- Rápida comutação de caminho em caso de falha.

Quanto aos sinais de proteção diferencial, além dos mesmos requisitos acima também são necessários:

- Simetria dos caminhos de transmissão e recepção.
- Baixo Jitter / Wander.

A não observância dessas características pode ocasionar perdas de sinais de teleproteção, indisponibilidade de transmissão quando necessário ou situações piores como trips indevidos motivados por uma assimetria por exemplo.

4.1 Teleproteção de Distância via Ethernet

A teleproteção de distância pode ser realizada através de equipamentos de teleproteção conectados a meios de comunicação Ethernet. Esse tipo de conexão é conhecido como CESoP (Circuit Emulation Service over Packet) e pode ser observado na Figura 2.

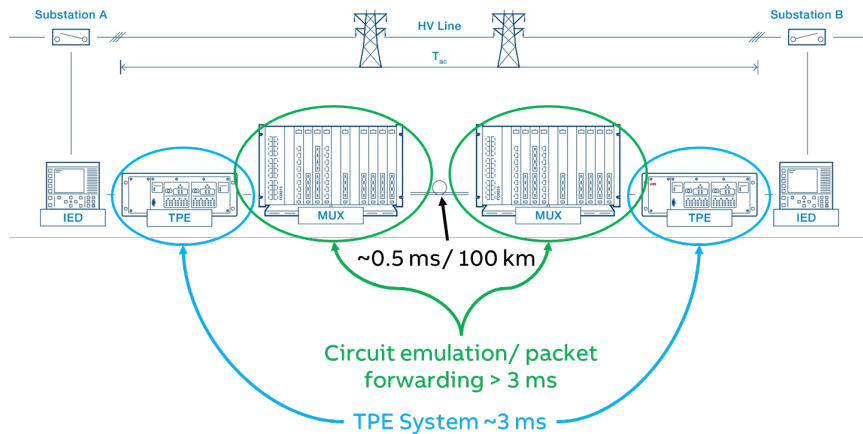


FIGURA 2 – Teleproteção de distância via CESoP

Nesse tipo de configuração, o equipamento de teleproteção faz a ponte entre os sinais provenientes dos relés de proteção e o meio de comunicação. Os sinais disponibilizados pelo equipamento de teleproteção para serem transmitidos podem estar disponíveis em diversos protocolos, dependendo dos equipamentos utilizados, podendo ser até mesmo diretamente Ethernet. Quando estão em outros formatos diferente de Ethernet, os equipamentos do meio de comunicação realizam o processo de emulação de circuito (CESoP). É nesse processo que os sinais tradicionais são convertidos para Ethernet, e com isso deve-se agregar diversos tipos de controle para garantir a correta operação da teleproteção. Além desse fato, o meio de comunicação deve prover outras ferramentas que garanta a comunicação desses sinais conforme os requisitos de teleproteção.

Quando o equipamento de teleproteção está integrado ao meio de transmissão, obtém-se um enorme ganho, uma vez é possível controlar desde a origem como os sinais são trabalhados, possibilitando ter uma garantia fim a fim dos sinais de teleproteção. Um exemplo dessa integração e das ferramentas utilizadas nessa integração está representada na Figura 3.

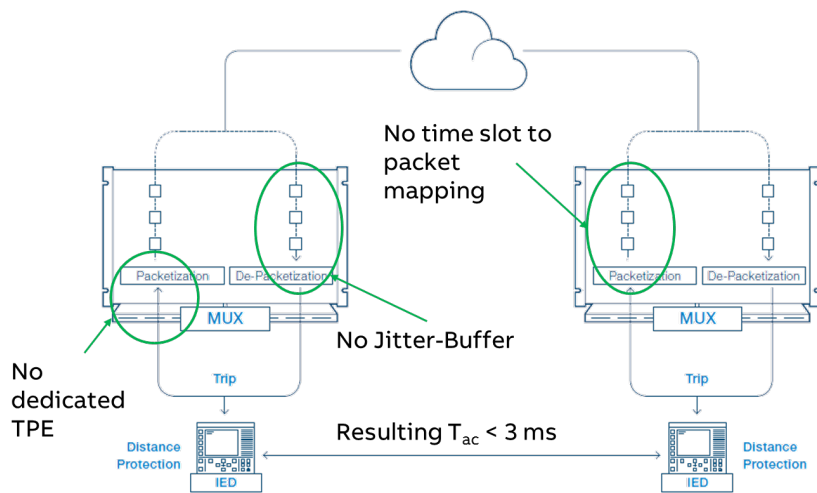


FIGURA 3 – Sistema de teleproteção integrado ao meio de transmissão

Nesse caso diminui-se a quantidade necessária de equipamentos, obtém-se uma maior eficiência do sistema, monitoramento fim a fim do canal e menores tempos de transmissão.

4.2 Teleproteção Diferencial via Ethernet

A proteção diferencial de forma semelhante ao conceito da proteção de distância, também necessita trabalhar com a conversão dos dados TDM para o fluxo Ethernet, através do CESoP. Como o canal de dados proveniente do relé já está encapsulado em um determinado protocolo, esse canal pode ser conectado diretamente ao meio de

comunicação, caso este esteja preparado para receber o protocolo em questão, como por exemplo C37.94, o qual podemos observar na Figura 4. Caso o equipamento não possua essa facilidade um conversor deve ser utilizado para essa interconexão, o que significa que necessitará uma ferramenta adicional para realizar o monitoramento e manutenção do sistema.

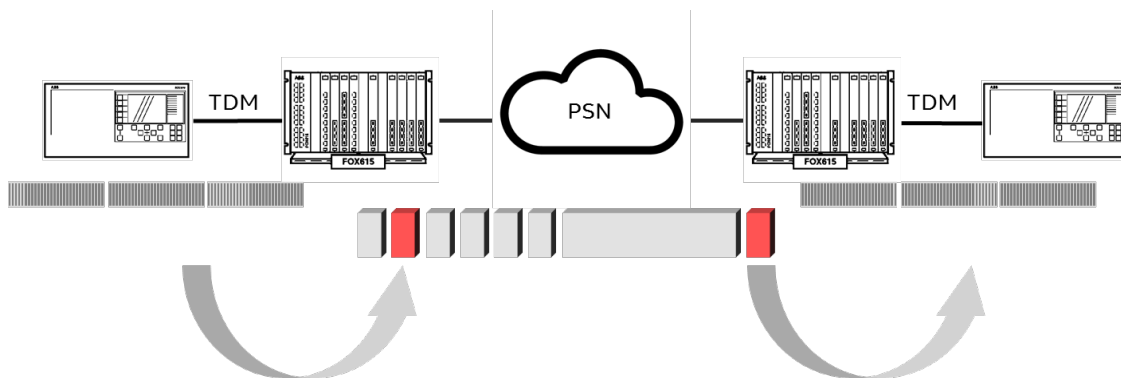


FIGURA 4 – Conexão de teleproteção diferencial ao meio de comunicação

Devido a maior criticidade nesse tipo de proteção, que demanda uma baixa latência, não permite a variação desta (Jitter / Wander) e tampouco assimetria nos sinais de transmissão e recepção, um controle ainda maior é necessário. Justamente por conta disto, normalmente esses tipos de sinais são sincronizados via PTP e SyncE, para permitir que se garanta a entrega no tempo correto, evitando a possibilidade da variação da latência, característica do meio ethernet que pode influenciar nos dados que estão sendo transmitidos. Na Figura 5 podemos observar um exemplo desse sincronismo interligado e controlando esses sinais.

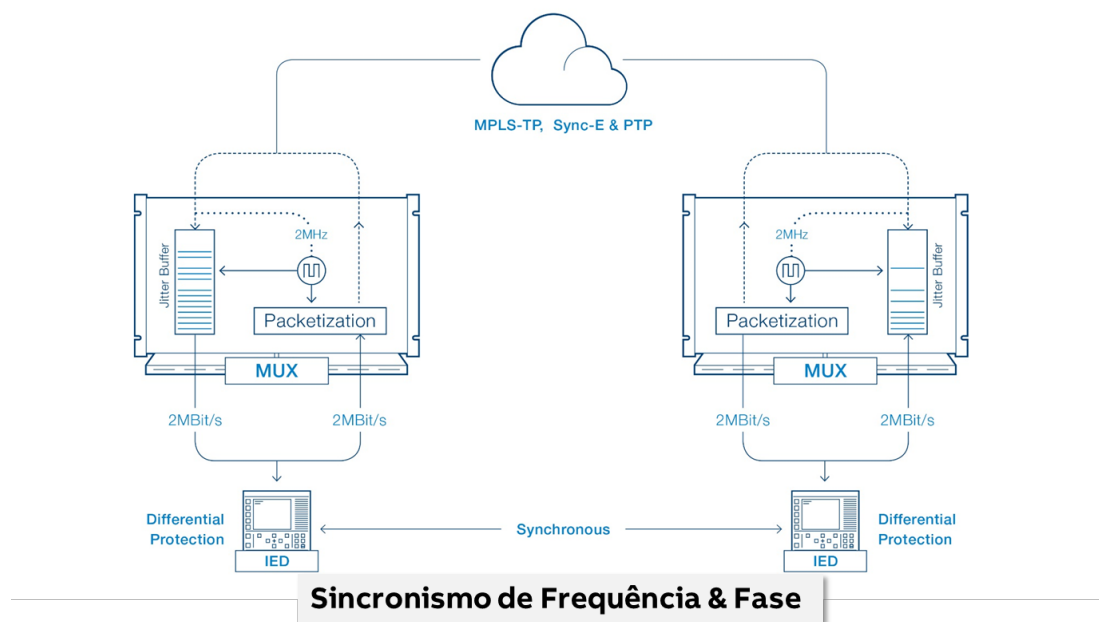


FIGURA 5 – Proteção diferencial com sincronismo de frequência e fase.

5.0 - TESTES E COMPARAÇÕES ENTRE TECNOLOGIAS

Foram realizados diversos testes para verificar, demonstrar e garantir a eficiência entre as duas tecnologias. Os diagramas dos testes realizados podem ser observados nas Figuras 6 e 7. Os resultados destes testes estão relacionados na Tabela 1.

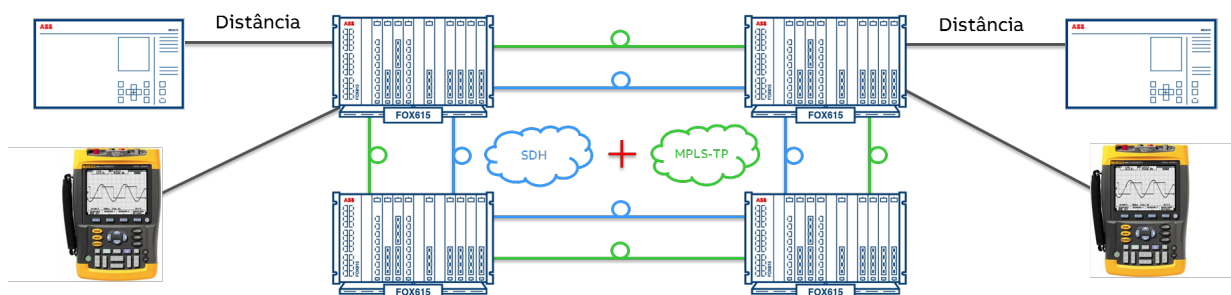


FIGURA 6 – Proteção de distância via rede TDM (SDH) e Ethernet (MPLS-TP)

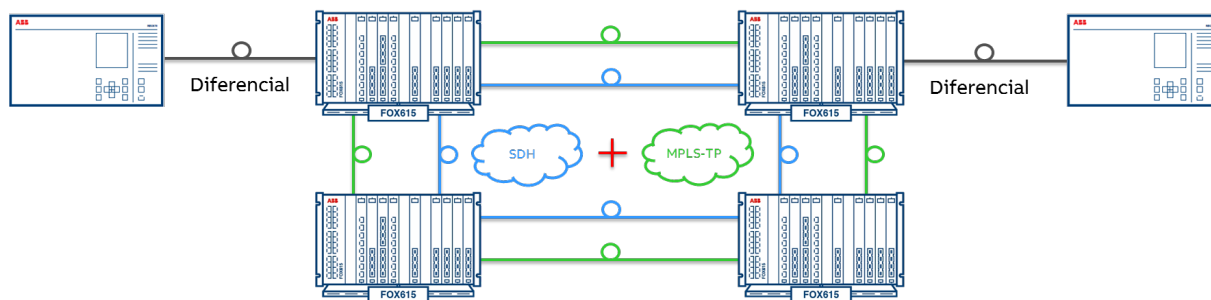


FIGURA 7 – Proteção diferencial via rede TDM (SDH) e Ethernet (MPLS-TP)

TABELA 1 – Comparativo dos tempos entre tecnologias

	SDH	MPLS-TP
Tempos de Transmissão (Dados Teóricos)	TEPI1 (21) < 6ms	TEPI2 (21) ~ 2,5ms
	OPIC1 (87) ~ 1,35ms	OPIC2 (87) ~ 1ms*1
Tempos de Transmissão Medidos	TEPI1 (21) < 5,36ms	TEPI2 (21) < 1,57ms
	OPIC1 (87) < 1,307ms	OPIC2 (87) < 1,3ms*2

NOTA: * 1 – Ajustável de 1 a 20ms

* 2 – Parâmetro configurado em 1ms

Foi possível observar que os tempos de transmissão através de um sistema Ethernet (MPLS-TP) foi capaz de se igualar aos tempos em sistemas TDM (SDH) Isso significa que é uma realidade a possibilidade de transmissão de teleproteção através de Ethernet, ao menos quando levamos em consideração os tempos de transmissão.

O que é necessário sempre se observar, é todo o conjunto para garantir a transmissão adequada, respeitando as características dos sinais de teleproteção, o que durante os testes foi considerado como a premissa básica de validação da solução.

6.0 - TENDÊNCIAS E POSSIBILIDADES PARA OS SINAIS DE TELEPROTEÇÃO

Com a integração cada vez maior entre tecnologias, atualmente podemos nos utilizar de diversas delas e chegarmos a um novo nível de integração.

A comunicação entre relés de proteção em uma subestação utilizando mensagens GOOSE é uma realidade. Normalmente essas informações ficam concentradas localmente e somente uma ínfima parcela é transmitida a outra subestação, através de sinais de teleproteção. Uma possibilidade é realizar uma maior integração entre as subestações, através da conexão dos sistemas de ambas subestações, tendo uma maior integração das mesmas, através da comunicação direta de mensagens baseadas no protocolo IEC 61850. Essa comunicação atenderia os mesmos requisitos locais, assim como o conceito já existente na transmissão de teleproteção, visando a garantia do funcionamento do sistema. Na necessidade de controle dos sinais de cada subestação, filtros podem ser configurados, evitando que informações desnecessárias sejam transmitidas entre as localidades. Isso permite uma

integração sem tamanho entre as localidades, permitindo inclusive uma menor quantidade de equipamentos, já que funções seriam processadas diretamente onde necessitam, sem converter ou utilizar de outros equipamentos e/ou processos para isso.

Utilizando os novos recursos de aquisição e medição de pontos na subestação, como “merge units” que adquirem as medições diretamente no equipamento no pátio da subestação e as transmitem via fibras ópticas aos relés de proteção. Sinais como estes podem ser adquiridos remotamente e transmitidos a outra localidade dentro de uma usina ou até mesmo a outra subestação, podendo ter esse processamento remoto, sem a necessidade de equipamentos intermediários.

Isso garantirá uma melhor eficiência ao sistema elétrico de potência, uma vez que será possível monitorar ainda mais sinais, de forma a garantir a operação ininterrupta desses sistemas. Além disto, uma quantidade menor de equipamento é necessária, facilitando a manutenção, como podemos observar nas Figuras 8 e 9.

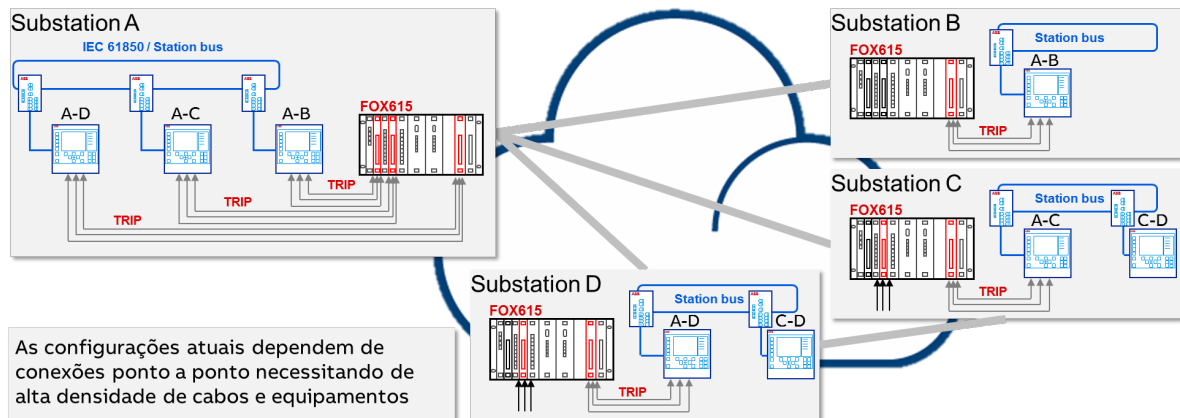


FIGURA 8 – Conceito atual de comunicação de sinais de teleproteção entre subestações

No conceito atual existe uma enorme necessidade de cabos interligando todos os dispositivos, o que demanda maior quantidade de equipamentos ou equipamentos com maior quantidade de canais.

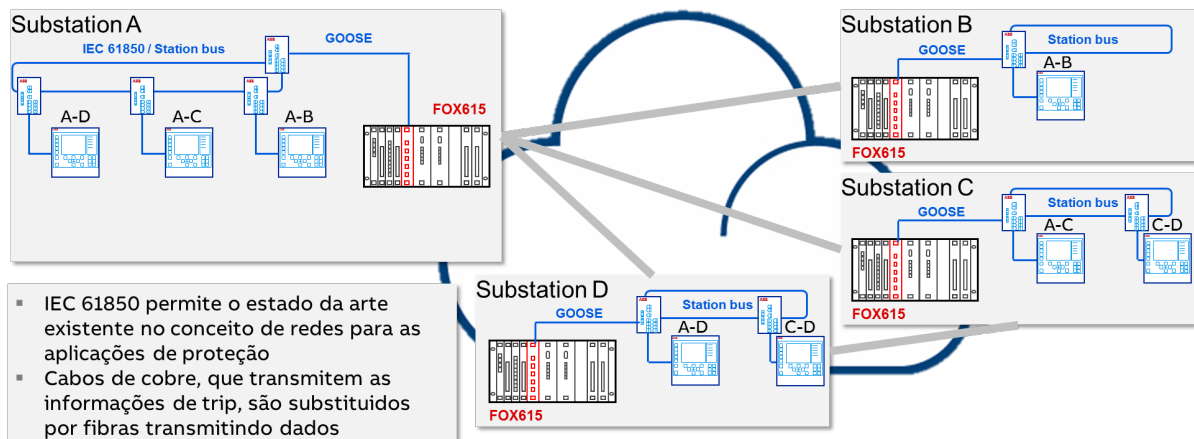


FIGURA 9 – Conceito de comunicação interligando subestações via IEC 61850

Melhor integração entre os dispositivos possibilitando aquisição e processamento de sinais obtidos diretamente na origem, sem intermediários, aumentando a disponibilidade e eliminando possíveis pontos de falha.

7.0 - CONCLUSÃO

Verificamos que é possível utilizar meios de comunicação Ethernet para a transmissão de sinais de teleproteção, devendo sempre observar as características das informações a serem transmitidas. Isso significa que os meios de comunicação devem ser adaptados e integrados as teleproteções e não somente impostos, determinando a forma

como deve-se comunicar através de seu sistema. Atualmente além desses desenvolvimentos, estamos também vivenciando outras vertentes, realizando integrações ainda maiores e que provavelmente serão o futuro das teleproteções em sistemas de telecomunicações.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC). Teleprotection Equipment of Power Systems - Performance and Testing - Part 1: Command Systems – IEC 60834-1 – 2ª Edição

(2) Bächli, Ramon. FOX615 MPLS-TP Technical Presentation; ABB Suíça

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Rafael Moura Moreira
Anhanguera Guarulhos, 2015
Engenheiro de Aplicação em Redes de Telecomunicações na ABB