

## Grupo de Estudo de Proteção, Medição, Controle e Automação em Sistemas de Potência-GPC

### Comunicação entre Subestações para Teleproteção via GOOSE em Linha de Transmissão da Rede Básica.

MARCOS HILARIO SYLVESTRE\*(1); JOSÉ RUBENS DA SILVA MACHADO(1); DÉCIO TOMASULO DE VICENTE(1); CTEEP(1);

#### RESUMO

O trabalho tem por finalidade demonstrar, através de testes em plataforma, a implementação Real em uma linha de transmissão de 230 kV da Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista - CTEEP entre as Subestações SE Piratininga e SE Henry Borden a comparação entre o modelo tradicional de Teleproteção via Ondas Portadoras em Linhas de Alta Tensão - OPLAT e a norma IEC 61850-90-1 (Comunicação entre Subestações) verificando questões que envolvem tempo de transmissão, segurança e principalmente as funções de proteção. E por fim abordar aspectos de custo-benefício da solução.

#### PALAVRAS-CHAVE

IEC 61850 90-1; GOOSE; Teleproteção; OPLAT; Telecomunicações.

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

Entre 2002 e 2004 foi publicada a norma IEC 61850 e já em 2007 a CTEEP energizou a SE Anhanguera sendo a primeira Subestação da empresa a utilizar mensagens GOOSE. Em 2010 nasce a norma IEC 61850-90-1 (Comunicação entre Subestações) e com a digitalização da subestação Edgard de Souza em 2015, vislumbramos ambas as subestações comunicando entre si utilizando-se da referida Tecnologia.

#### 1.1 O sistema OPLAT

O sistema OPLAT da CTEEP, conforme Figura 1, tem por filosofia a transmissão e recepção dos comandos das funções de proteção 21 POTT "Transferência de Trip por Sobreacance Permissível"; 50 BF "Transferência de Trip por Falha de Disjuntor"; 67N "Transferência de Trip Permissível por atuação da função de Sobrecorrente, Pickup de Comparação Direcional de Neutro".

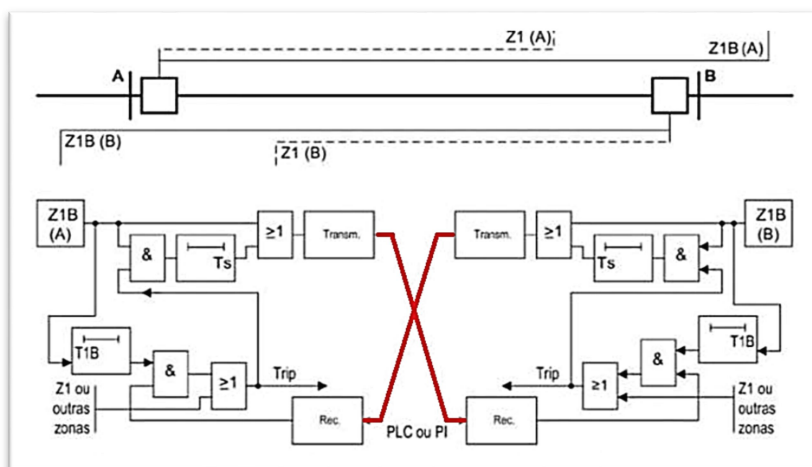


FIGURA 1 - Esquema de Proteção POTT (fonte: SIEMENS)

(\*) Avenida Paula Ferreira, 804 – CEP 02916-000 São Paulo, SP – Brasil.  
Tel: +55 (11) 3856-4027 – Email: [msylvestre@ctee.com.br](mailto:msylvestre@ctee.com.br)

A condição de transmissão de sinal deve atender:

- Partida da zona auxiliar (Z1B);
- Trip de alguma função de proteção de distância e partida da zona auxiliar ( $TRIP+Z1B$ ).

A condição de desligamento ocorre quando:

- A zona auxiliar partir decorrido a sua temporização ( $Z1B+T1B$ ) e recepção *carrier* (RX). Assim para um desligamento rápido do esquema de teleproteção o temporizador T1B deve ser ajustado em 0 (zero) ou em um valor muito baixo;
- Para maior segurança em eventuais ruídos no sistema de teleproteção foi implantado a lógica da Figura 2 para os comandos de envio de *trip* de Falha de Disjuntor (50 BF); somente existe *trip* se o sinal chegar por ambos equipamentos OPLAT.

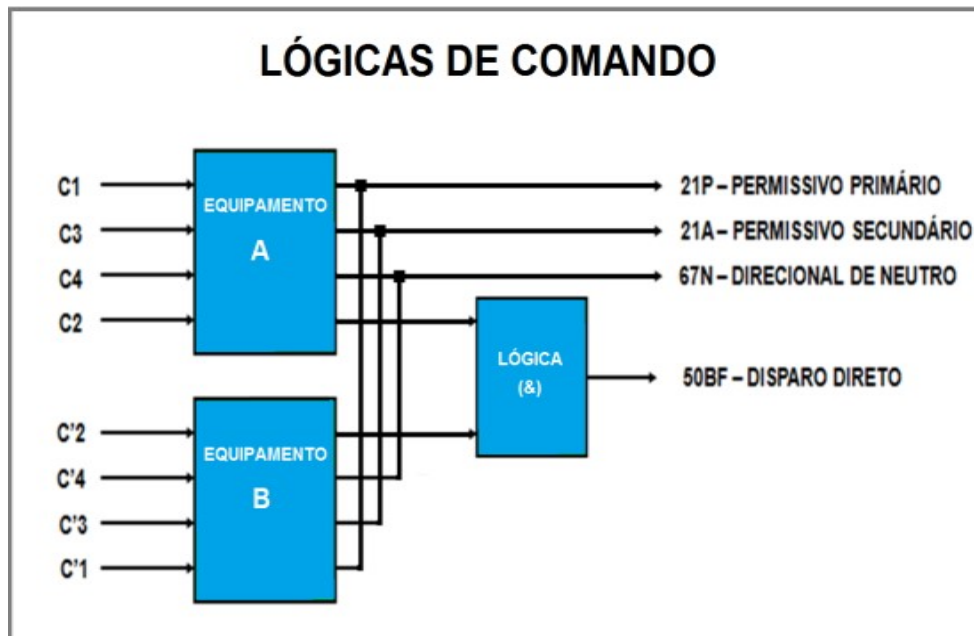


FIGURA 2: Lógicas de comando do sistema OPLAT

Na Tabela 1 são demonstrados os tempos médios de transmissão do sistema OPLAT, levantados em manutenções preventivas, considerando sem os relés auxiliares.

TABELA 1: Tempo em milissegundos dos comandos via sistema OPLAT

LINHAS DE TRANSMISSÃO	TX 1	TX 2	TX 3	TX 4
LT 230 kV ESO/CAV C-2	15,93	15,15	15,41	15,62
LT 230 kV ESO/CAV C-4	13,59	13,45	13,64	13,57
LT 230 kV ESO/CAV C-5	14,32	13,75	14,32	14,4
LT 230 kV ESO/TOY C. ÚNICO	13,26	*	*	13,41
LT 345 kV SUL/EMG C. ÚNICO	14,69	14,32	*	*
LT 345 kV LES/RRF C-2	13,76	14,67	*	*
LT 440 kV SOL/EMG C. ÚNICO	13,26	*	*	13,35
LT 440 kV JAD/EMG C. ÚNICO	17,77	*	*	17,72
TEMPO MÉDIO (ms):	14,57	14,27	14,46	14,68

## 2.0 DESENVOLVIMENTO

Para se ter confiabilidade e segurança na comunicação entre as subestações alguns requisitos foram atendidos conforme consta na norma[1]:

- a. Tempo de Trip no bay e entre bays conforme Tabela 2 (mensagens tipo 1A):

TABELA 2: Tempo em milissegundos definidos pela norma

Classe de performance	Tempo de transferência
<i>Trip no bay</i>	$\leq 4\text{ms}$
<i>Trip entre bays</i>	$\leq 10\text{ms}$

- b. Comunicação ponto a ponto, dedicada e não compartilhada (Tunneling). Sistemas Dense Wavelength Division Multiplexing - DWDM ou Synchronous Digital Hierarchy - SDH que atendam o requisito do IED da subestação A em comunicação direta com a subestação B criando um tunel por uma ou um par de fibra óptica.

### 2.1. Rede de comunicação

A comunicação entre as subestações e os Intelligent Electronic Devices - IED's, foi estruturada para atender ao requisito de tempo  $<10\text{ms}$ . A arquitetura foi focada em segurança sendo constituída por dois switches 10/100 Mbps interligados por fibra óptica; foi configurada uma *Virtual Local Area Network* – VLAN [2] e utilizado enlace próprio de telecomunicações SDH (via Optical Ground Wire - OPGW) com canal dedicado de 2 Mbps e conversor G703 para o padrão Ethernet 10/100 Mbps.

Assim como a CTEEP possui uma rede própria de telecomunicação conforme Figura 3 e Figura 4, a maioria das empresas de transmissão já possui a infraestrutura necessária de telecomunicações com um Backbone seguro e redundante.

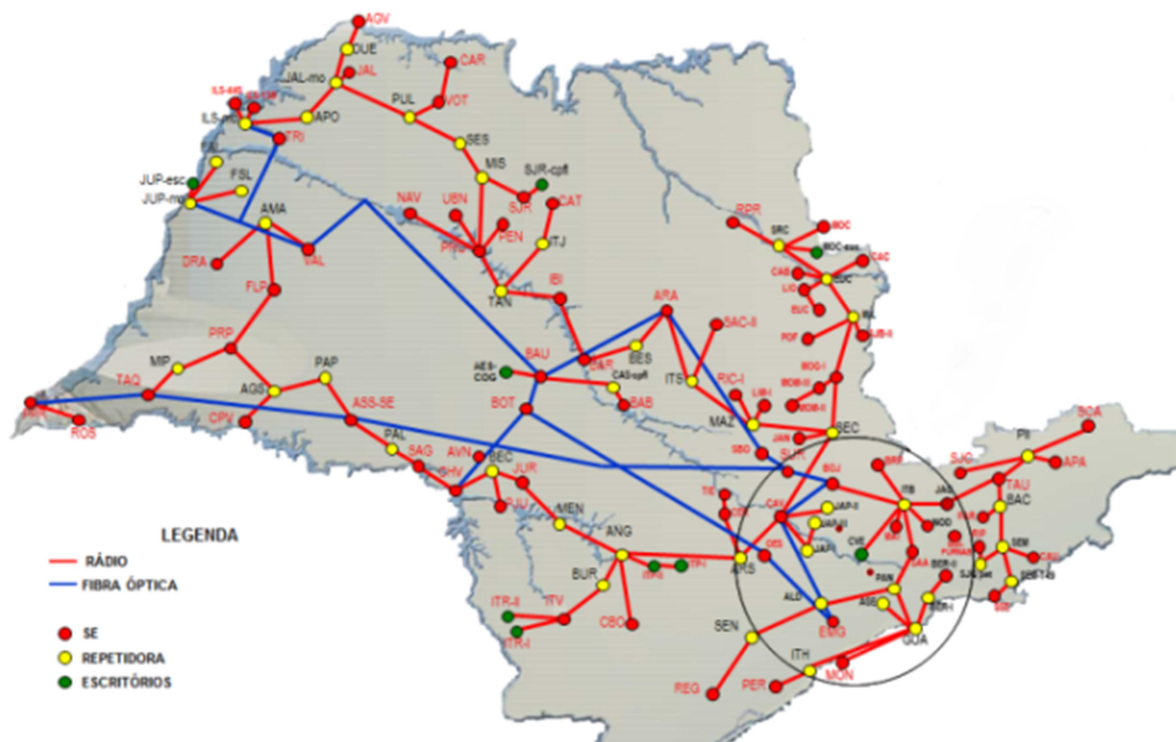


FIGURA 3 - Mapa do sistema de telecomunicações da CTEEP no estado de SP

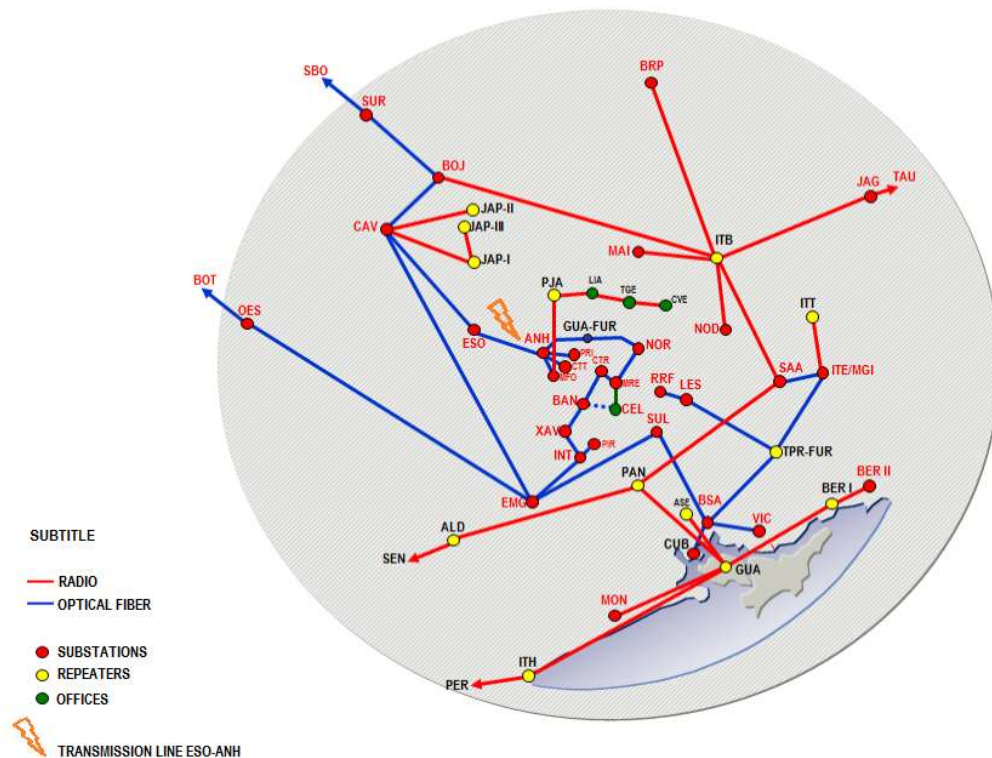


FIGURA 4 – ZOOM do Mapa do sistema de telecomunicações da CTEEP no estado de SP

## 2.2. Implementação das mensagens GOOSE e parametrização dos IEDs

A princípio foram executados testes de plataforma com dois IED's idênticos aos que operam na referida LT, incluindo em sua parametrização e implementação dos comandos citados anteriormente via GOOSE, além do sinal de qualidade do enlace entre os respectivos IED's, para que seja monitorada a perda de comunicação[3].

Destacamos que as mensagens via GOOSE monitoradas pelo analisador de protocolo, conforme Figura 5, traz maior segurança nos processos de manutenção dos equipamentos de telecomunicação e teleproteção como um todo.

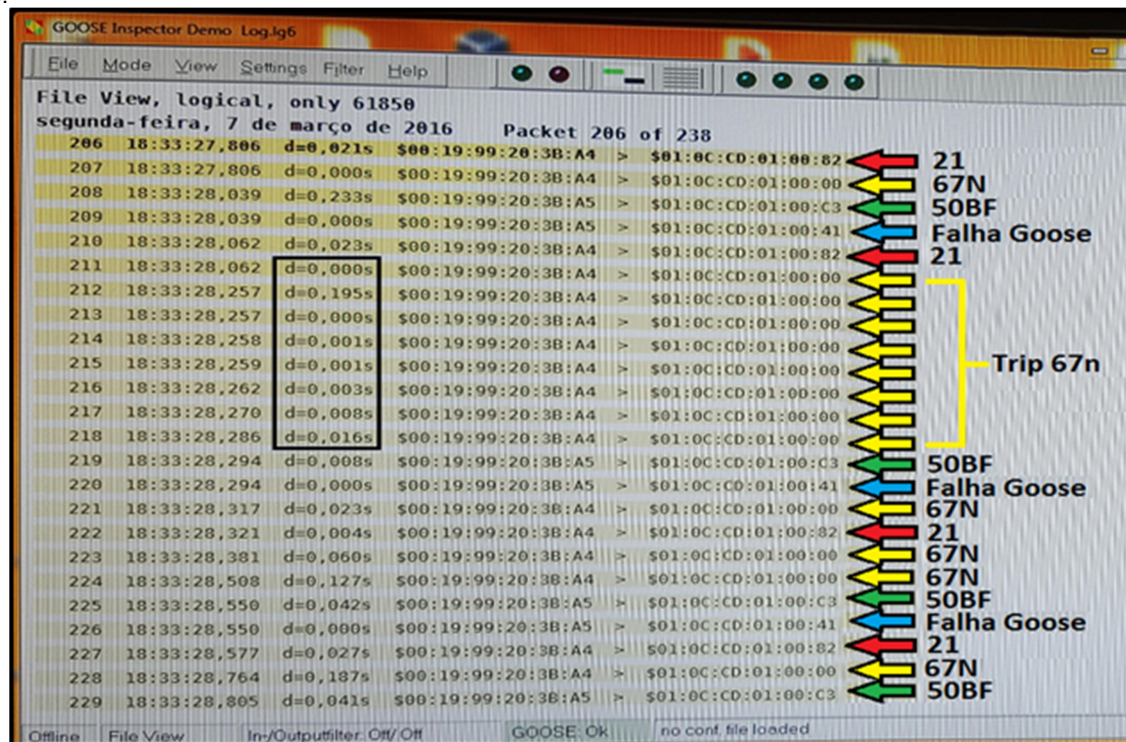


FIGURA 5 - Visualização das mensagens GOOSE de envio do comando de Trip 67N



### 2.3. Constatação dos tempos envolvidos em todos os elementos que compõem a plataforma de testes.

**Ensaio 1:** Uma binária de saída da caixa de testes ligada diretamente em uma binária de entrada da mesma caixa de testes para verificar o atraso introduzido pelos relés de entrada/saída da caixa de testes.

**Ensaio 2:** A caixa de testes tem uma saída ligada em uma Binary Input - BI do IED, que o IED ao receber um positivo interpreta como um “trip 50BF” e deve, portanto, enviar um comando de Transferência Direta de Disparo - TDD para outro IED. Este comando é direcionado para caixa para verificar o atraso introduzido pelos relés de entrada/saída da caixa de testes.

**Ensaio 3:** A caixa de testes tem uma saída ligada em um BI do IED, que o IED ao receber um positivo interpreta como um “Trip 50BF” e deve, portanto, enviar um comando TDD para outro IED, através dos switches utilizando VLAN específicas. Este comando no final é direcionado para caixa para verificar o atraso introduzido pelos switches.

**Ensaio 4:** Este ensaio contempla todos os ensaios anteriores, usando como meio de transmissão o equipamento SDH por meio de fibra óptica em OPGW para verificar o tempo total de toda a aplicação.

### 2.4. A plataforma de testes

A plataforma para os testes ponta-a-ponta, conforme Figura 6, incluiu equipamentos de Global Positioning System - GPS que sincronizou os IED'S e as duas caixas de testes via Network Time Protocol – NTP, visando simular todas as condições em uma mesma base de tempo entre todos os equipamentos conforme a norma.

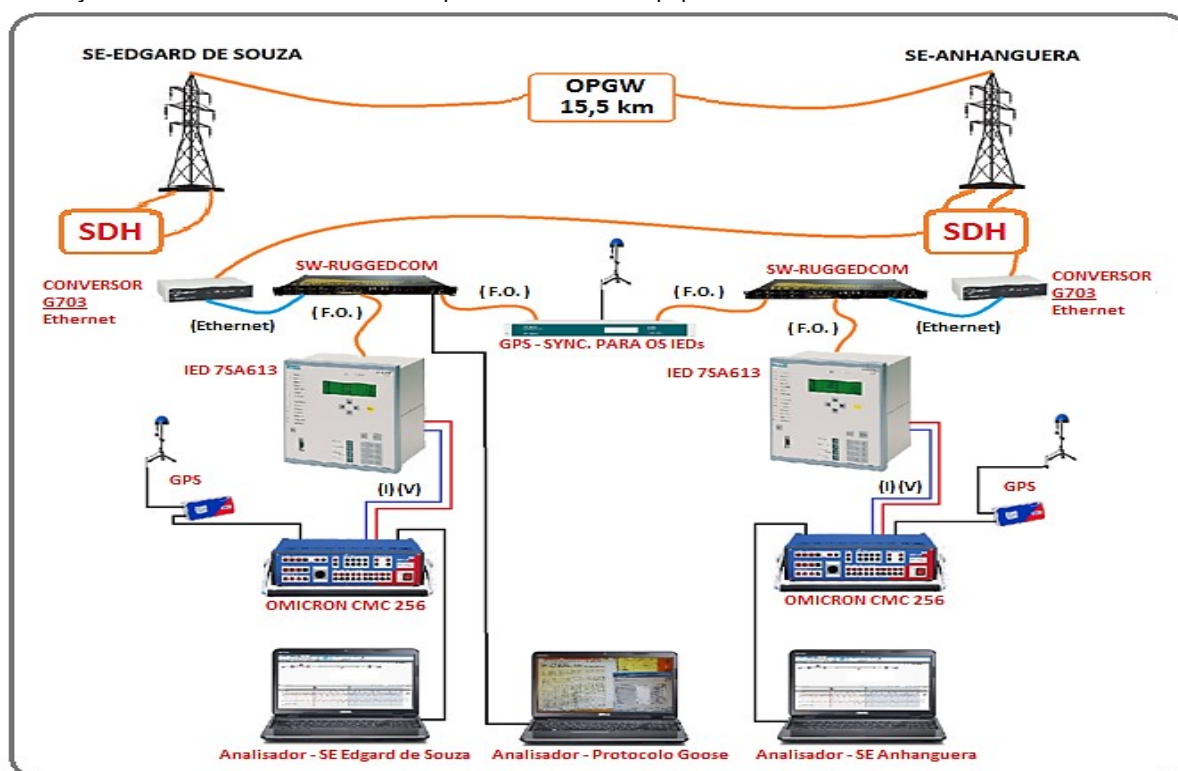


FIGURA 6 – Arquitetura montada na subestação Anhanguera

Destacamos que não houve atraso introduzido por contatos de relés auxiliares na comunicação entre os IED's, a não ser pela BI de entrada que recebe o sinal da caixa de testes e a Binary Output - BO de saída do relé que envia o sinal para a caixa. A comunicação em si é toda via rede, sem envolver contatos físicos.

Comparamos a atuação de ambos os esquemas com resultados satisfatórios e ganhos de tempo na aplicação via GOOSE sendo abordados os tempos e suas aplicações na Tabela 3.

TABELA 3: Tempos dos testes em plataforma

TESTS	OPLAT 50BF (ms)	GOOSE 50BF (ms)	GOOSE 67N (ms)	GOOSE 21 (ms)
BOX OMICRON BI / BO	8	8	8	8
BI / BO IEDs	10	10	0	0
BLOCK PROTECTION IEDs	5	5	5	11
GOOSE	0	1	1	1
NETWORK+SDH+OPTICAL FIBER	0	2	2	2
CARRIER (PLC)	19	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>42</b>	<b>26</b>	<b>16</b>	<b>22</b>

### 2.5. Testes da proteção

Foram efetuados testes em conjunto com a área de estudos da proteção Figura 7, simulando as diversas condições em eventuais ocorrências tais como:

- Falta fase-terra sem impedância de falta localizada a 10% do terminal ANH (90% do terminal ESO);
- Falta fase-terra ocorrendo a 10% de ANH, porém no circuito paralelo, ou seja, o circuito em teste não apresenta falta. Nesta condição ANH vê um curto reverso, e ESO vê um curto em segunda zona, após 50ms da falta descrita, simula-se a abertura do disjuntor do circuito paralelo (em falta), apenas no terminal de ANH. Neste segundo estado, que perdura por 300ms, ANH passa a enxergar um curto à frente, em zona 2, e ESO passa a ver para trás. É esperada a atuação do bloqueio por reversão de corrente, estabilizando a proteção. De fato este foi o resultado observado, havendo estabilidade das proteções, sem o Trip indevido.

Além dos testes descritos anteriormente, utilizamos um arquivo Common format for Transient Data Exchange - COMTRADE com uma falta real ocorrida nesta linha de transmissão com atuação das proteções incluindo o esquema de Teleproteção OPLAT.



Figura 7 – Plataforma montada na subestação Anhanguera

## 2.6. Propostas de arquitetura

As soluções apontadas pela norma IEC 61850-90-1, abre novas perspectivas e inéditas abordagens onde podemos obter segurança utilizando sistemas redundantes com arquiteturas mais eficientes, visando o melhor custo-benefício para cada situação, incluindo sistemas via GOOSE e/ou OPLAT mais tom de áudio por linha de transmissão. A Figura 8 mostra o esquema tradicional com OPLAT.

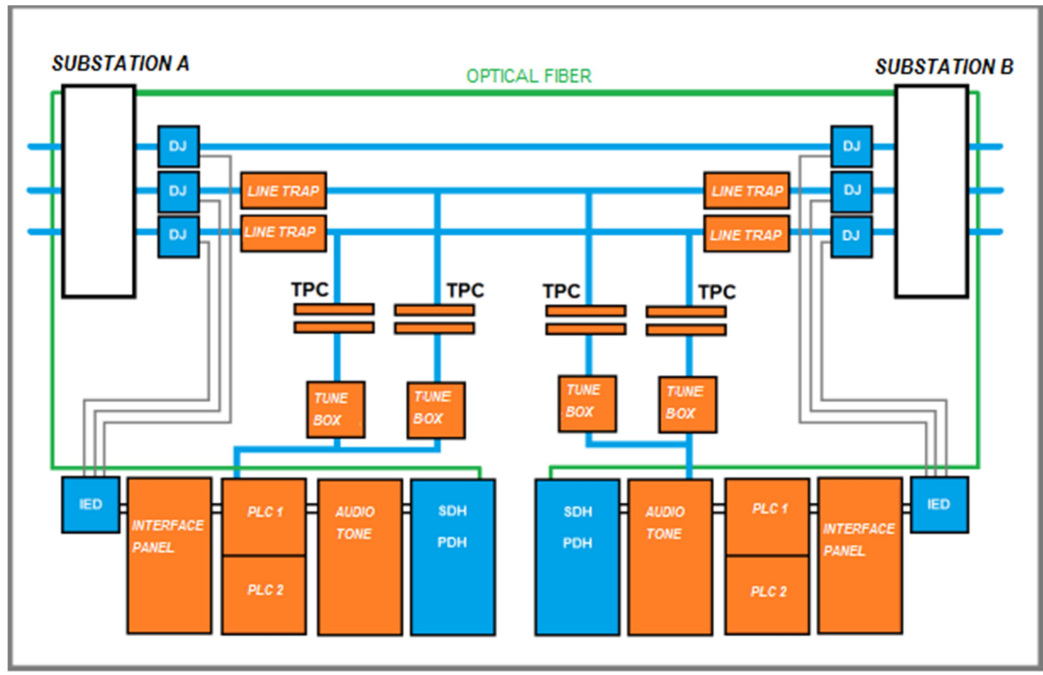


Figura 8 – Tradicional esquema com OPLAT

-Proposta com Comandos via GOOSE Figura 9:

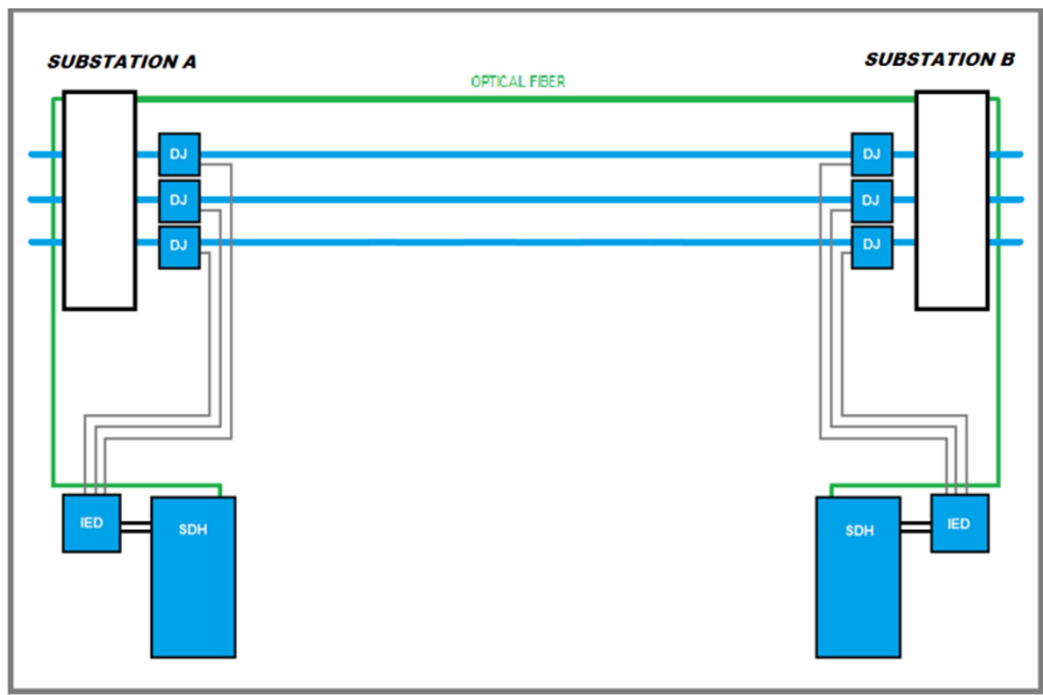


Figura 9 – Comandos Via GOOSE

### 3.0 IMPLEMENTAÇÃO DE CASO REAL

Para se atender os procedimentos de rede do ONS onde no item 8.2.8 do Submódulo 2.6 – Requisitos mínimos para os sistemas de proteção e de telecomunicações, cita que “os esquemas de transferência de disparo devem utilizar dois canais de telecomunicações, de equipamentos de telecomunicação independentes. Sempre que possível, os equipamentos de telecomunicação devem utilizar meios físicos de comunicação independentes. Os equipamentos de Teleproteção, caso utilizados, também deverão ser independentes”[4].

Implementado em março de 2019 na Linha Piratininga - Henry Borden de 230 kV da ISACTEEP a arquitetura Híbrida de Teleproteção via OPLAT e por rede via GOOSE, para a Proteção Principal e Proteção Alternada conforme Figura 10, com a comprovação do ganho de tempo sendo 2ms para uma rede de Fibras Ópticas de 90 Km e 14 ms para 33 Km da Linha de Transmissão por OPLAT.

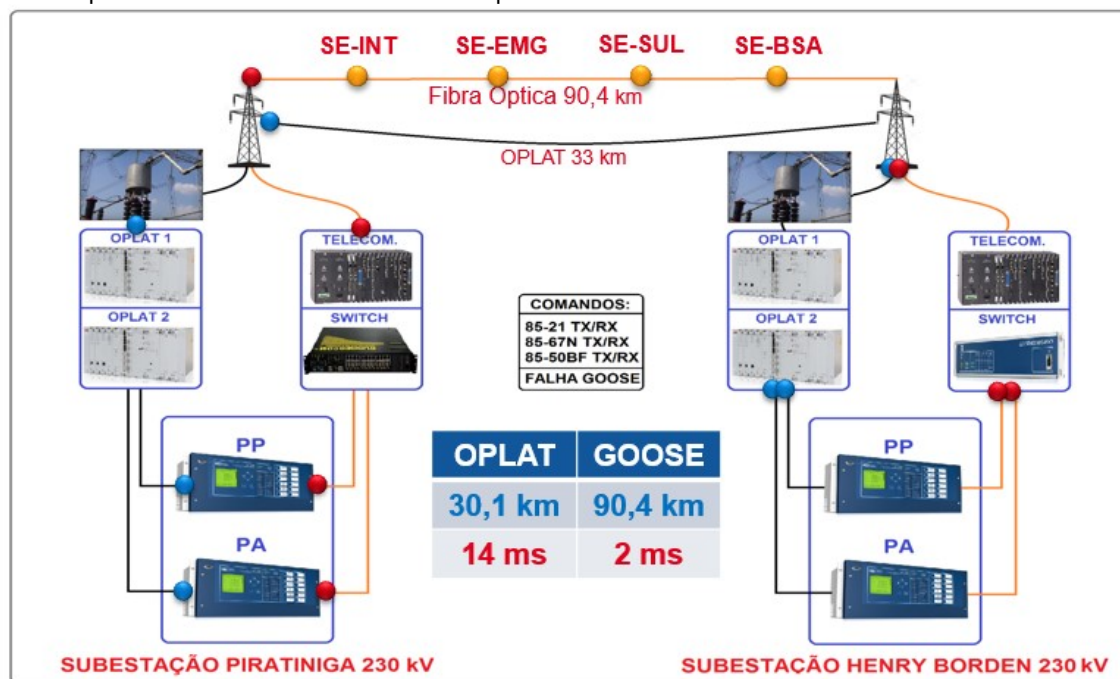


FIGURA 10 - Arquitetura proposta utilizando o sistema de Telecomunicações Caso Real

#### 3.1. Relação custo-benefício

Levantamos o custo para o projeto baseado em OPLAT e por rede via GOOSE e a diferença é considerável conforme demonstrado nas Tabelas 4 e 5.

TABELA 4: Custo total do sistema OPLAT

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	VALOR (R\$)
SISTEMA DE TELEPROTEÇÃO – 1 ENLACE (2 PAINÉIS COM 2 OPLAT E 1 TOM DE ÁUDIO)	1	780.000,00
BOBINA DE BLOQUEIO	4	200.400,00
ISOLADORES DE PEDESTAL	12	109.000,00
PROJETOS (ELÉTROMECAÂNICO/CÍVIL/ELÉTRICO)	***	300.000,00
CUSTO HOMEM-HORA	***	388.176,55
SOBRESSALENTE	***	121.027,74
TREINAMENTO E SOFTWARE	***	134.656,06
<b>VALOR TOTAL</b>		<b>2.033.260,35</b>

TABELA 5: Custo médio da solução via GOOSE

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	VALOR (R\$)
PROJETOS / EQUIPAMENTO (ELÉTRICO / REDE)	***	75.000,00
CUSTO HOMEM-HORA	***	16.000,00
TREINAMENTO E SOFTWARE	***	30.000,00
<b>VALOR TOTAL</b>		<b>121.000,00</b>

Obs: O custo médio da solução proposta é aproximadamente 6% da solução por OPLAT.



#### 4.0 CONCLUSÃO

Conforme resultados obtidos, julgamos estarmos diante de um novo momento onde não se discute mais a aplicação da norma IEC 61850 na digitalização de subestações, mas sim o avanço que teremos em sua implantação.

A aplicação da parte 90-1 da norma demonstrou ser confiável e segura acarretando um melhor custo-benefício, além de proporcionar maior disponibilidade com a utilização de canal de comunicação que se recupera, devido a sua arquitetura em anel, caso exista rompimento físico dos cabos da linha de transmissão.

Citamos também a menor quantidade de equipamentos para a operação controlar e operar, reduzindo o custo em manutenção corretiva e preventiva.

O ganho de velocidade em relação aos esquemas tradicionais de comunicação usados para Teleproteção é significativo, contribuindo para estabilidade do sistema de potência e preservação da vida útil dos equipamentos.

Assim a tecnologia avança de forma responsável e segura na modernização do sistema elétrico com instalações mais integradas, inteligentes e seguras.

#### 5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) IEC/TR 61850-90-1 - Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-1: Use of IEC 61850 for the communication between substations - 2010

(2) Vicente, Décio Tomasulo De - Aplicação dos padrões da norma IEC 61850 a subestações compartilhadas de transmissão/distribuição de energia elétrica / D.T. de Vicente. -- ed.rev.-- São Paulo - 2011.

(3) Merighi, Gustavo C.; Albuquerque, Flávio Farias de; Abboud, Ricardo - Experiência da Enersul na transmissão de mensagens GOOSE entre subestações para teleproteção com base na norma IEC 61850-90-1 – 2014

(4) ONS - Submódulo 2.6 – Requisitos mínimos para os sistemas de proteção e de telecomunicações – 2011

#### 6.0 DADOS BIOGRÁFICOS



**Marcos Hilario Sylvestre**

São Paulo, 14 de janeiro de 1967; Graduação em Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia São Paulo “FESP” – 1994; Pós-Graduação: Master In Project Management – Universidade Nove de Julho – SP – 2012; Trabalha há 35 anos na Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista – CTEEP. Atualmente é Engenheiro sênior de Manutenção na área de Supervisão, Proteção, Automação e Telecomunicações.

Trabalhos Publicados: Telessupervisão e Telecomando Sinônimo de Lucro Gerado com Qualidade e Confiabilidade. VII SNTTEE – 1998; Supervisão da Linha Subterrânea de 345 kV Norte – Miguel Reale – Aspectos que Envolvam a Implementação e Manutenção. V SIMPASE – 2003; Mobilidade Do Sistema De Supervisão e Controle em Subestações. XII EDAO – 2012; INTERNATIONAL COLLOQUIUM “BUILDING SMARTER SUBSTATIONS” - Mexico / 2016.



**José Rubens Da Silva Machado**

São José da Barra, 06 de abril de 1989; São José da Barra – Técnico em Eletrotécnica pela Escola Estadual de Furnas - 2007; São Paulo - Cursando a Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Nove de Julho – 2016. Trabalha há 5 anos na Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista – CTEEP. Atualmente é Técnico pleno na área de Supervisão, Proteção, Automação e Telecomunicações.



**Décio Tomasulo De Vicente**

Mogi das Cruzes, 31 de maio de 1978; São Paulo - Mestrado em Sistemas de Potência pela Universidade de São Paulo – 2011; Mogi das Cruzes - Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de Mogi das Cruzes – 2004. Trabalha há 14 anos na Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista - CTEEP. Atualmente é Engenheiro pleno na área de Sistemas de Supervisão e Controle.