XI SIMPÓSIO DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

16 a 19 de Agosto de 2015
CAMPINAS - PR

A EVOLUÇÃO DOS ESQUEMAS DE PROTEÇÃO COM A ADOÇÃO DA NORMA IEC 61850 E O ADVENTO DA INTEROPERABILIDADE

Paulo Sergio Pereira Jr, Michel Rockembach de Carvalho, Rodrigo Ramos, Paulo Sergio Pereira, Cristiano Moreira Martins, Gustavo Espinha Lourenço

Conprove Engenharia

Brasil

RESUMO

O uso de IED's (*Intelligent Electronic Device*), aliado à implementação da norma IEC 61850, tem proporcionado um aperfeiçoamento crescente na performance do sistema de Proteção, Automação e Controle (PAC) à medida que agrega vantagens como o aumento da confiabilidade dos esquemas de proteção e velocidade de eliminação de faltas no sistema elétrico de potência (SEP) [2].

O objetivo desse trabalho é realizar uma análise prática do uso de mensagens GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) na troca de informações entre IEDs de diferentes fabricantes e assim evidenciar as vantagens dessa nova tecnologia nos esquemas de proteção.

Foram testados casos reais da função de proteção *Breaker Failure* (Falha do Disjuntor) de modo a comparar o desempenho das mensagens GOOSE e o cabeamento de cobre. Ao final do artigo destacam-se os benefícios encontrados com a adoção das novas tecnologias.

PALAVRAS CHAVE

Esquemas de Proteção, Falha do Disjuntor, GOOSE, IEC 61850, IED, Mala de Testes

Paulo Sérgio Pereira Junior
psjunior@conprove.com.br

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 Histórico

Os primeiros relés projetados foram os eletromecânicos cujo princípio de funcionamento consiste no uso das forças geradas pelas interações eletromagnéticas entre fluxo e corrente, bem próximo do que acontece em um motor. O relé possui como entrada sinais de tensão e/ou corrente tendo como sinal de saída a mudança dos estados normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF) de seus contatos. Caso o relé detecte uma condição anormal, um sinal elétrico é enviado ao disjuntor que executa a abertura do circuito protegido.

Com a evolução da tecnologia surgiram os relés de estado sólido. Esses relés eram constituídos a partir de semicondutores e possuíam a mesma funcionalidade dos eletromecânicos com a vantagem de consumirem menos potência.

As primeiras idéias a respeito do relé digital surgiram no começo dos anos 60, nesse momento o computador estava começando a substituir as ferramentas de análise do sistema de potência. Quando a velocidade de processamento desses computadores atingiu um patamar aceitável os primeiros relés digitais foram criados. Seu funcionamento é estruturado basicamente em cima de um microprocessador cujo gerenciamento é feito através de um software. Os dados de entradas analógicas são digitalizados e em seguida processados, caso haja necessidade são alterados os estados de suas saídas digitais.

Assim que os relés digitais começaram a incorporar funções de controle, medição, oscilografia, além de diversas funções de proteção, em um único equipamento, transformaram-se nos atuais IED's (*Intelligent Electronic Device*).

1.2 Sistemas de Proteção

A definição de sistema de proteção de acordo com o Submódulo 2.6 do ONS é: "*O sistema de proteção é o conjunto de equipamentos composto por relés de proteção, relés auxiliares, equipamentos de teleproteção e acessórios destinados a realizar a proteção em caso de falhas elétricas, tais como curtos-circuitos, e de outras condições anormais de operação dos componentes de um sistema elétrico*".

A implementação do sistema de proteção de maneira adequada minimiza:

- A extensão do defeito no equipamento diminuindo o custo para reparação de eventuais estragos;
- A probabilidade de que o defeito se propague envolvendo outros equipamentos;
- O tempo de indisponibilidade do equipamento;
- Custos financeiros com a parada de produção;
- Insatisfação pública;
- Perda de vidas humanas.

1.3 Esquemas de Proteção

Os esquemas de proteção são utilizados para impedir que fenômenos como faltas, curto-circuito e manobras prejudiquem a estabilidade do sistema elétrico e que danifiquem seus componentes. Os principais esquemas de proteção são:

1.3.1 Falha do Disjuntor

A falha do disjuntor ocorre devido a um problema mecânico ou elétrico que impede o mesmo de realizar sua função, ou seja, isolar do sistema uma eventual anomalia. Nesta situação aciona-se um disjuntor a montante, perdendo seletividade, contudo evitando-se o agravamento do distúrbio.

1.3.2 Seletividade Lógica

A seletividade tradicional consiste em deixar um retardo de tempo intencional (300ms a 500ms) entre as curvas de tempo x corrente e/ou elementos de tempo definidos para os diversos relés do sistema de maneira que não ocorram atuações descoordenadas. Através da seletividade lógica os relés digitais podem trocar informações entre si reduzindo a diferença de tempo entre os elementos para 50ms a 100ms.

1.3.3 Intertravamento da Seccionadora

A lógica de intertravamento de seccionadora é utilizada para evitar que uma seccionadora abra o sistema sob carga, já que uma seccionadora deve ser utilizada apenas para manobras de manutenção do disjuntor.

1.3.4 Intertravamento Reverso

O intertravamento reverso ocorre quando um IED envia um sinal de bloqueio a outro IED. Isso pode ser aplicado em mudanças de topologia da rede ou devido a um determinado comportamento do sistema elétrico.

1.3.5 Lógica de Proteção de Barra

Quando ocorre alteração na configuração de um barramento é necessário adequar os esquemas de proteção. Deve-se, portanto, criar uma lógica de proteção de barra com base no posicionamento das chaves.

1.3.6 Lógica de Transferência de Carga

A lógica de transferência de carga deve ocorrer quando há um desequilíbrio entre geração e consumo. Neste caso deve-se ou aumentar a geração acionando novos geradores ou realizar cortes de cargas não prioritárias.

1.3.7 Restabelecimento de Subestação

Com o aumento da complexidade das topologias das subestações é necessário uma lógica de restabelecimento quando ocorre uma falta. Esta lógica deve ser configurada de modo que o restabelecimento seja feito da maneira mais rápida, segura e econômica possível.

1.4 A norma IEC 61850

A norma IEC 61850 é um padrão para comunicação entre os diversos dispositivos presentes no PAC. Neste contexto, tem a interoperabilidade como item de destaque.

A IEC 61850 estabelece o padrão de transmissão de informações nos três níveis do Sistema de Automação da Subestação (SAS): nível da Estação, Bay e Processo, definindo-se dois barramentos de dados: o barramento de estação e o de processo, com requisitos específicos para cada tipo de comunicação [3]. A figura 1, abaixo, ilustra as conexões dos IEDs com os barramentos citados.

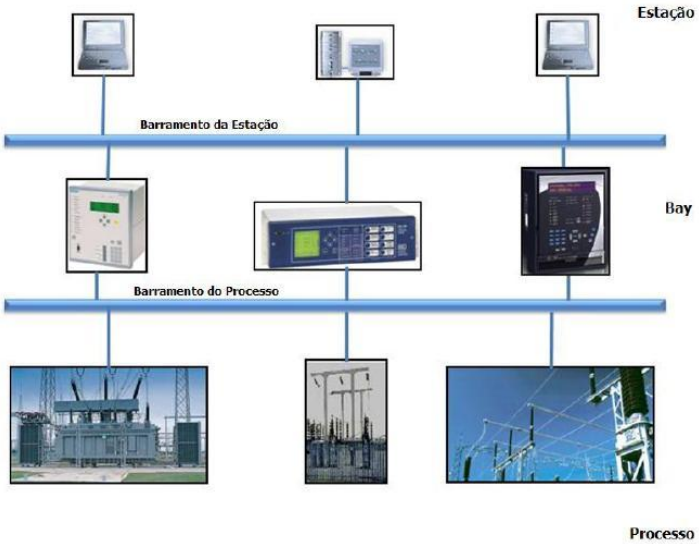

Figura 1 – Barramentos de comunicação IEC 61850 e os Níveis dos SAS

Existem três maneiras distintas para a troca de dados estabelecida pela IEC 61850: O Cliente-Servidor, GOOSE **(***Generic Object Oriented Substation Event*) e SV (*Sampled Measurement Values*) [3].

A comunicação Cliente-Servidor é utilizada para transmissão de informações de relatório, o que não exige alta velocidade no tráfego dos dados. Mensagens GOOSE e SV "carregam" informações críticas ao sistema de proteção devendo, portanto, atender a requisitos de tempo crítico, logo são mensagens que devem trafegar em alta velocidade na rede.

Mensagens GOOSE são utilizadas, por exemplo, para enviar informação de trip (substituindo a comunicação binária). Já as mensagens Sampled Values enviam a informação de corrente e tensão do sistema, em formato digital, através da rede ethernet (substituindo os sinais analógicos convencionais).

A figura 2 ilustra como cada tipo de mensagem utiliza as camadas de rede, segundo o modelo OSI (Open System Interconnection), para alcançar os requisitos de tempo previstos na norma.

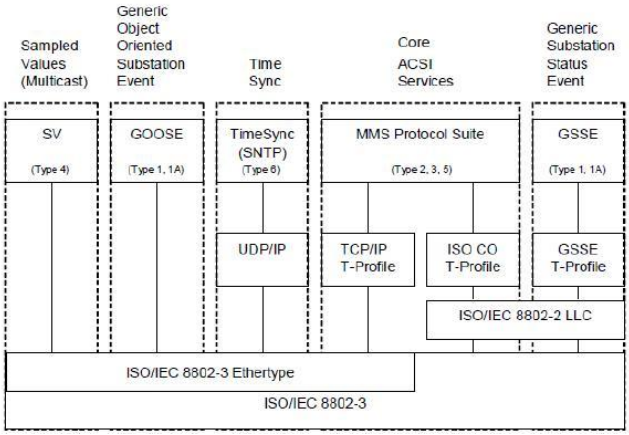

Figura 2 – Tipos de Comunicações utilizados pela norma IEC 61850

Tanto as mensagens GOOSE como as SV são estruturadas como um frame ethernet e para atenderem aos requisitos de tempo trafegam na 2º camada de rede [1]. Na figura abaixo é apresentado o cabeçalho do frame comum aos dois tipos de mensagens.

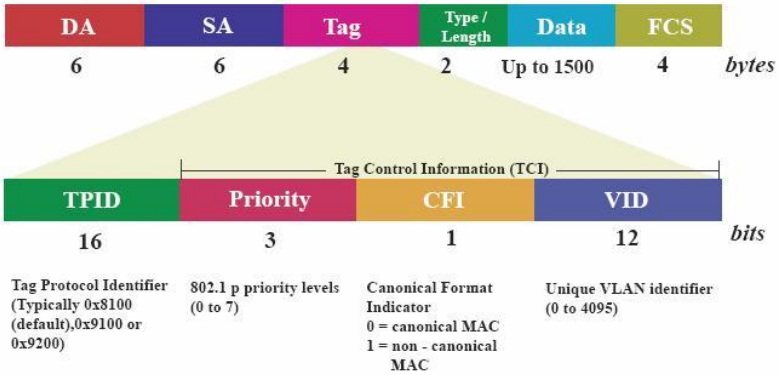

Figura 3 – Frame Ethernet

Na figura acima, merecem destaque dois campos: Priority e VID.

Priority tags são utilizados para atribuir prioridades aos pacotes (frames) de acordo com a IEEE 802.1p. Nos dispositivos que compõem a rede, como switches e roteadores, mensagens com alta prioridade são processadas primeiro, garantindo maior velocidade no tráfego das mesmas. Frames GOOSE e SV são definidos como de alta prioridade (Priority tag = 4).

VID é o identificador de Virtual Lan. A utilização de VLAN tag, conforme a IEEE 802.1Q, possibilita separar virtualmente uma rede onde os dispositivos estão interligados fisicamente, diminuindo o fluxo de dados que trafegam sem necessidade por certo trecho da rede, resultando em uma economia na largura de banda.

As mensagens GOOSE, em particular, apresentam outra característica importante para garantir a confiabilidade desta comunicação: Repetições de Envio de acordo com a IEC 61850.

A norma IEC 61850 especifica repetições para o envio da mensagem GOOSE na ocorrência de um evento, visando garantir a sua chegada, caso um pacote seja extraviado. No momento do evento será enviada uma mensagem, seguida de mais duas no menor tempo possível e posteriormente haverá repetições em intervalos de tempo de acordo com a figura 4.

Por exemplo: um sistema que já opera estável envia uma mensagem de confirmação a cada 0,5s. A partir da ocorrência de um evento, imediatamente é enviada uma mensagem deste evento e mais duas, e posteriormente inicia-se o processo de repetições, com um multiplicador 2, e supondo os seguintes ajustes: tmin = 1ms e tmax = 0,5s, a quarta mensagem do evento seria enviada em 1ms, a quinta em 3ms e as próximas em: 7, 15, 31, 63, 127, 255, 500, 500ms; voltando a operar em regime estável, e repetindo a mensagem a cada 0,5 segundos. O envio respeita a seguinte fórmula:

Tproxima msg = (Tmsg anterior x Multiplicador) + Tinicial (1)

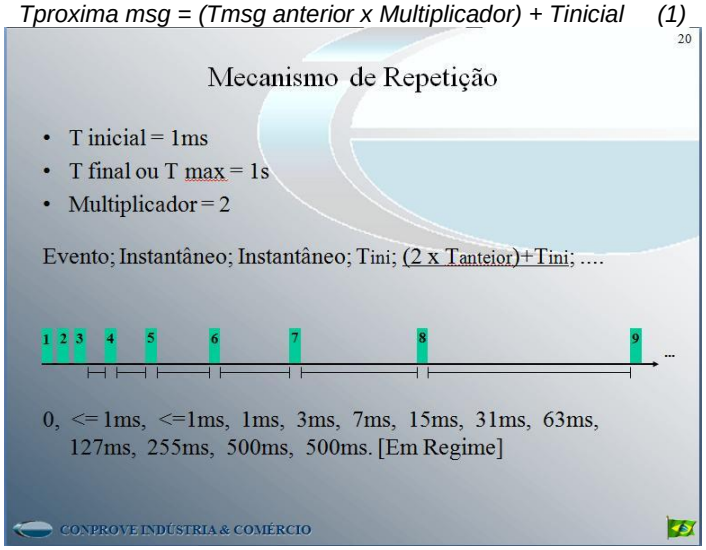

Figura 4 – Exemplos de Envio de Mensagens GOOSE

Com a adoção da norma obtêm-se as seguintes vantagens.

- Monitoramento e alta velocidade de comunicação;
- Interoperabilidade entre fabricantes distintos;
- Grande redução de cabeamento utilizado resultando em aumento de confiabilidade e simplificação do projeto;
- Tecnologia adequada para o futuro;
- Facilidade para alterar ou expandir o sistema.

2.0 DESENVOLVIMENTO

Com a utilização cada vez maior dos IED's juntamente com a consolidação da norma IEC 61850 diversas melhorias nos esquemas de proteção puderam ser desenvolvidas principalmente em confiabilidade e velocidade de operação. Esses ganhos são devidos à utilização das mensagens GOOSE que utilizam uma rede ethernet em substituição a fiação de cobre.

Em um único cabo ethernet são enviadas centenas de mensagens, cada uma com vários dados, resultando numa economia financeira, pois quando se utiliza cabeamento de cobre, para cada sinal digital (equivalente a um dado em uma mensagem) é necessário um par de cabos.

Nos antigos esquemas de proteção quando ocorria um rompimento de um cabo de cobre dificilmente era identificado logo em seguida. Normalmente se encontrava esse defeito em manutenções periódicas onde é necessário o desligamento do sistema ou em situações mais graves como na ocorrência de uma falta.

Utilizando a norma IEC 61850 a confiabilidade aumenta, pois existe um monitoramento constante da mensagem GOOSE e uma duplicação dos canais de comunicação, ou seja, existe uma comunicação redundante. Caso haja problema em um caminho a comunicação é transferida para o caminho alternativo de maneira quase que instantânea, por intermédio do protocolo STP *(Spanning Tree Protocol)* ou RSTP *(Rapid Spanning Tree Protocol)*.

Com a utilização de protocolos mais modernos, como o HSR e o PRP, não há atraso algum na comutação entre os caminhos redundantes. Nestes protocolos a informação é sempre duplicada e trafega simultaneamente nos dois caminhos, assim, caso cesse o fluxo de dados por uma das vias a informação já estará, naturalmente, na via redundante.

Os esquemas de proteção são projetados para detectar anomalias no sistema de energia e interferir para que mantenha o suprimento para maior parte possível sendo complementares as proteções individuais dos elementos do sistema. Esses esquemas são divididos de acordo com o impacto no sistema e de acordo com o tempo de operação. Seu objetivo maior é manter a estabilidade e confiabilidade do sistema elétrico.

A norma IEC 61850 ao padronizar a comunicação entre os IEDs permite que se realize de fato a interoperabilidade entre os diversos dispositivos instalados no PAC, inclusive de diferentes fabricantes. É comum artigos apresentando troca de informação entre IEDs de um mesmo fabricante, no entanto o desafio encontra-se em realizar a comunicação entre equipamentos de diferentes fabricantes, visto que há diferenças de

implementação de um fabricante para outro, como por exemplo os softwares de configuração.
Este artigo aborda a troca de informações entre dois IEDs de fabricantes distintos evidenciando o benefício maior da norma. A facilidade de troca de informações entre os IED é o fator chave para melhoria nos esquemas de proteção possibilitando aos projetistas lógicas mais complexas e abrangentes.

2.1 Comparações

Convencionalmente a comunicação entre os dispositivos instalados no PAC ocorre por conexões físicas (cabos de cobre) entre entradas e saídas binárias de cada equipamento. Esta condição implica em uma grande quantidade de cabos, uma vez que para cada sinal (informação) é necessário a instalação de um par destes cabos.

Esta estrutura baseada em cabeamento de cobre, além de encarecer a instalação da subestação torna a manutenção mais complexa, haja visto a grande quantidade de cabos que deverão ser checados. Outro detalhe é o fato de que os dispositivos instalados possuem um número reduzido de entradas e saídas, o que implica em uma limitação no projeto dos esquemas de proteção.

Com a norma IEC 61850 a comunicação entre os IEDs é digital, sendo a conexão estabelecida via rede ethernet. Nesta condição é necessário um único cabo de rede (ou fibra óptica) para conectar o equipamento ao sistema. Essa redução de cabeamento reduz custos de instalação e facilita o comissionamento e a manutenção da subestação.

É importante ressaltar que a norma possibilita que em uma única mensagem sejam enviados vários dados (informações) e amplia as entradas e saídas dos IEDs, que agora podem ser tanto físicas como virtuais. Com estes avanços tecnológicos os projetos dos esquemas de proteção podem ser cada vez mais completos e detalhados, aumentando a confiabilidade do PAC.

A figura 5, procura evidenciar a redução da quantidade de cabos necessários para transmissão de informação em uma subestação IEC 61850 diante de uma instalação convencional.

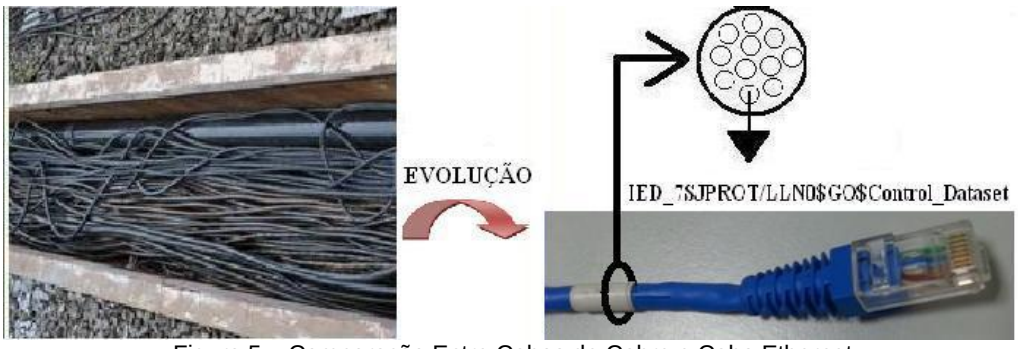

Figura 5 – Comparação Entre Cabos de Cobre e Cabo Ethernet

Outro detalhe é que quando ocorre um rompimento do cabo de cobre não se consegue detectar o problema em tempo real. Com o uso de mensagens GOOSE há um constante monitoramento do *Time Allowed to Live* (ttl) de modo que podem ser criados alarmes e/ou sinalizações quando não há recebimento da mensagem.

Manobras antigamente realizada por operadores são feitas de maneira automática gerando um aumento de confiabilidade e de segurança, resultando em diminuição no tempo de interrupção aos consumidores.

2.2 Implementação do esquema de proteção

Foram realizados testes nos relés em duas condições diferentes e foi elaborada uma tabela com os resultados para cada condição. Inicialmente foi feito um teste utilizando o cabeamento de cobre para enviar um sinal de trip entre os dois relés. No segundo teste foi utilizado o cabo ethernet para enviar a mensagem GOOSE entre os dois relés.

Os IEDs foram montados de maneira a simularem um sistema de proteção envolvendo uma linha de transmissão e uma barra de derivação com vários ramais de saída, como ilustrado na figura 6. Esse conceito pode ser aplicado facilmente a outras configurações de falha do disjuntor.

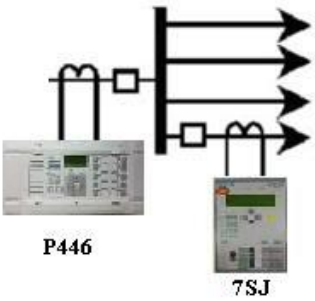

Figura 6: Desenho do sistema, Alstom P446 e Siemens7SJ (sistema em campo)

Caso o disjuntor do 7SJ falhe, o IED deve enviar uma mensagem de comando para o P446 para que esse abra seu disjuntor. O teste consiste em comparar o tempo que o P446 leva para efetuar o trip em seu disjuntor, recebendo o comando via GOOSE ou via contato.

2.3 Testes

Para a realização dos testes foram utilizados: IED Siemens 7SJ, IED Alstom P446, Switch RuggedCom e a Mala de Calibração de Relés modelo CE-6006, marca CONPROVE (desenvolvida no Brasil). O uso da mala é essencial, pois permite injetar sinais de corrente, avaliar tempos de operação, monitorar entradas e saídas digitais e mensagens GOOSE. A figura 7, a seguir, apresenta a montagem do teste realizada em laboratório.

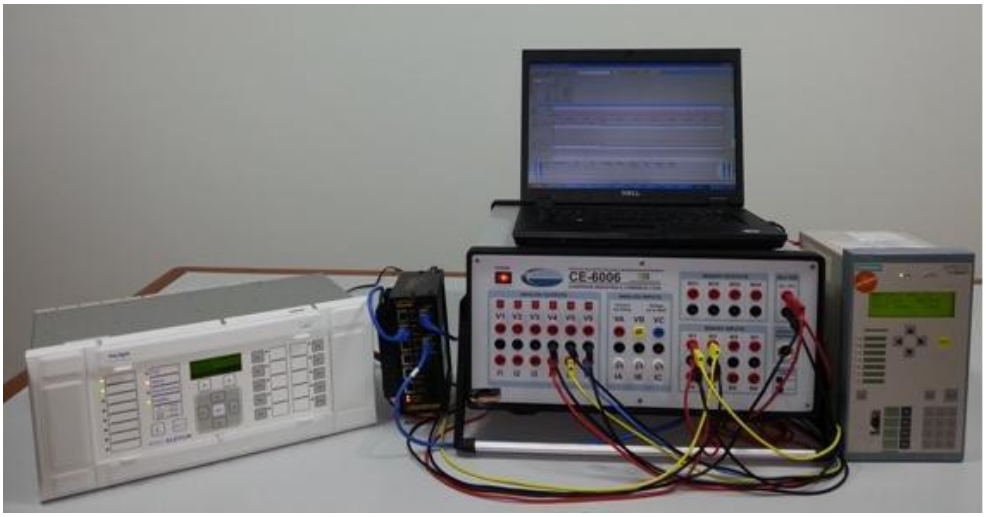

Figura 7: Foto do Sistema em Teste

Uma corrente de 16,00A é injetada pela mala de testes Conprove modelo CE-6006 no IED 7SJ (relé a jusante) por 300ms. O 7SJ possui a função de sobrecorrente instantânea ajustada com um pick-up de 15,00A com temporização de 0s + inércia.

Como a corrente injetada é maior que seu ajuste, é enviado um comando para abertura do seu disjuntor, entretanto essa falta permanece por mais de 250ms, ou seja, o disjuntor não extinguiu a falta. Nesta condição o relé envia uma informação através da rede IEC 61850 via mensagem GOOSE ou através do cabeamento de cobre para o relé P446 a montante e quando o IED P446 recebe a informação envia um trip para o seu disjuntor.

A figura 8 apresenta, esquematicamente, as conexões entre a mala de teste e os IEDs nas duas configurações de troca de informações.

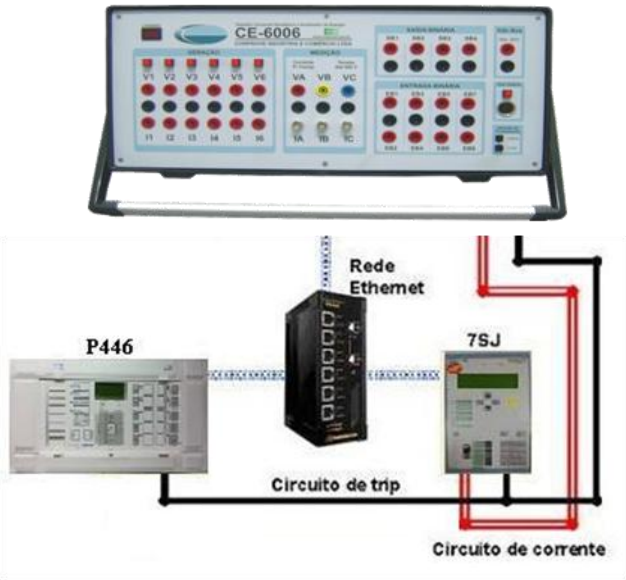

Figura 8: Diagrama de Interligação entre os dispositivos

2.3.1 PRIMEIRO TESTE – Fiação de Cobre (Cabeamento Rígido)

O primeiro teste consiste em: ocorrendo uma falha de disjuntor do relé 7SJ, esse deve alterar o estado da sua saída digital do nível lógico de “0” para “1” enviando assim um sinal ao relé P446. O relé P446, por sua vez, também deve alterar seu estado de “0” para “1”enviando um sinal ao seu disjuntor para eliminar a falta.

Na Figura-9 pode-se verificar a diferença de tempo entre a BI1 (*Binary Input 1)* que representa o sinal de falha do disjuntor do 7SJ e a BI3 (*Binary Input 3)* que representa o *trip do* P446. Nesse caso o tempo vale 14,78ms.

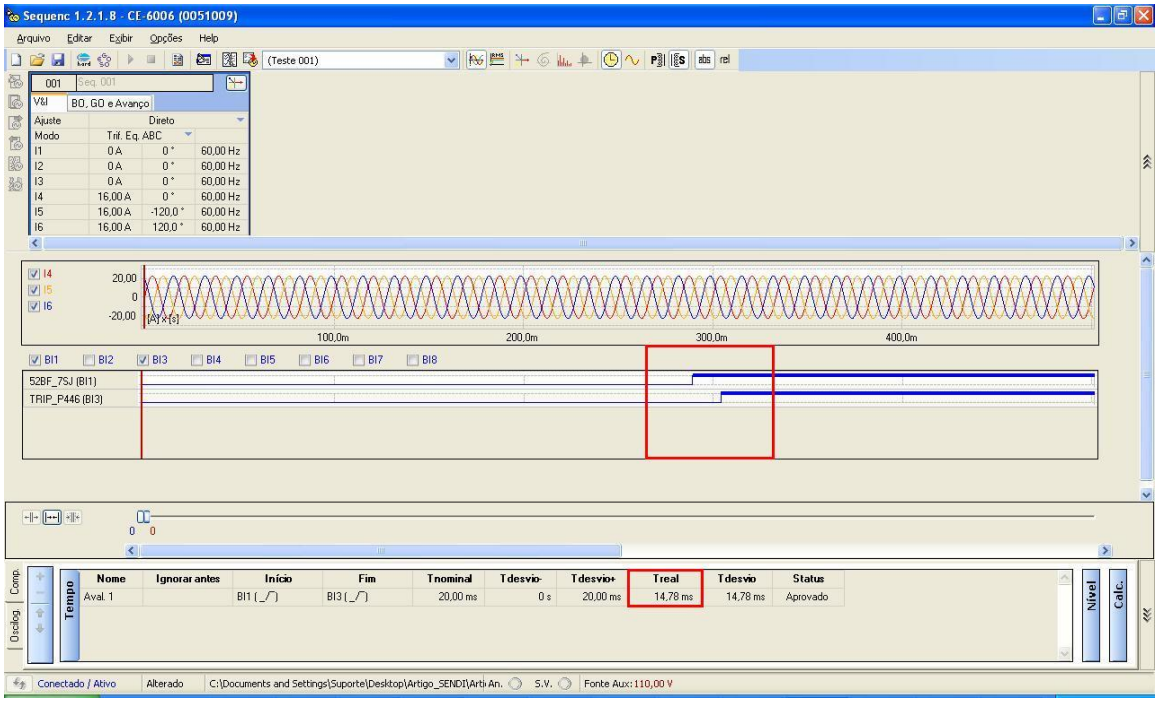

Figura 9: Caso-1. Avaliação de tempo por contato

2.3.2 SEGUNDO TESTE – Mensagens GOOSE – IEC 61850 (Rede Ethernet)

O segundo teste consiste em: ocorrendo uma falha de disjuntor do relé 7SJ, esse deve alterar o estado booleano de uma mensagem GOOSE de *FALSE* para *TRUE* (equivalente à mudança do nível lógico de “0” para “1”), enviando assim uma mensagem ao relé P446. O relé P446, por sua vez, deve alterar seu estado de “0” para “1”enviando um sinal ao seu disjuntor para eliminar a falta [4].

Para realização do teste foi necessário configurar o 7SJ para enviar mensagens GOOSE e o P446 para receber tais mensagens. Este procedimento é um ponto crítico na implementação da interoperabilidade, pois cada IED deve ser configurado com um software diferente (proprietário) podendo ocorrer incompatibilidades de arquivos.

Para configurar o 7SJ utilizou-se o software DIGSI, que permite exportar as configurações IEC 61850 do IED via arquivo SCD (*Substation Configuration Description*).

Quanto ao P446, sua configuração consistiu em carregar o arquivo exportado do DIGSI no software MICOM S1 Agile e direcionar a informação do dado contido na mensagem GOOSE à lógica de proteção desejada [4].

Ao realizar o procedimento descrito acima, confirmou-se na prática que ambos os fabricantes, Siemens e Alstom, implementam a norma IEC 61850 de forma adequada, bem como evidenciou a eficácia da mesma no quesito interoperabilidade.

A configuração da mala de testes foi realizada de maneira semelhante à configuração do P446. No software Sequenc carregou-se o mesmo arquivo SCD exportado do DIGSI e direcionou-se o monitoramento da mensagem GOOSE enviada pelo relé 7SJ para a entrada virtual GI1 da mala. Este procedimento demonstra, também, a compatibilidade do equipamento de testes com o padrão IEC 61850.

Na Figura-10 pode-se verificar a diferença de tempo entre a GI1 (*GOOSE INPUT 1)* que representa o sinal de falha do disjuntor do 7SJ e a BI3 (*Binary Input 3)* que representa o *trip do* P446. Nesse caso o tempo vale 8,20ms.

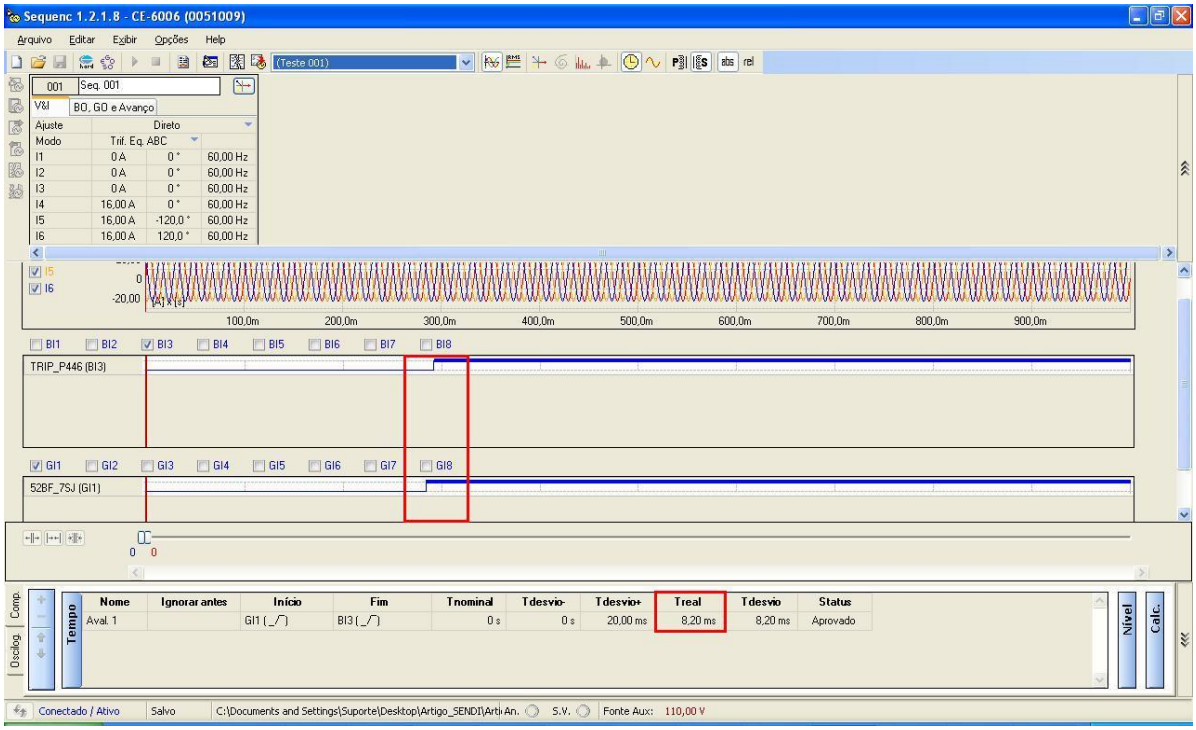

Figura 10: Caso-1. Avaliação de tempo por GOOSE

2.3.3 Comparativo entre testes

Foram realizados 20 casos de cada teste para reduzir as variações de tempo inerentes ao próprio relé. A segunda coluna da Tabela-1 mostra o tempo que o P446 levou para enviar o sinal de trip assim que recebeu a informação de falha do disjuntor via saída digital do 7SJ. Todo o cálculo de tempo é feito pelo software Sequenc um dos aplicativos da mala de teste.

A terceira coluna da Tabela-1 mostra o tempo dos 20 casos que o P446 levou para enviar o sinal de trip assim que recebeu a informação de falha do disjuntor via mensagem GOOSE do 7SJ.

A quarta coluna da Tabela-1 mostra a diferença entre os tempos dos dois testes. Por fim nas linhas 21 a 24 é exibida uma análise estatística dos dois casos e da diferença entre eles. Pode-se verificar o valor médio, o valor máximo, o valor mínimo e o desvio padrão para cada situação. Verifica-se que em todos os casos o tempo através de mensagem GOOSE foi mais rápido que por contato.

Tabela 1

N° do caso	Tempo(ms) via Contato	Tempo(ms) via GOOSE	Diferença de Tempo(ms)
1	14,78	8,20	6,58
2	14,52	8,47	6,05
3	14,78	11,56	3,22
4	15,32	7,93	7,39
5	15,05	8,06	6,99
6	14,78	7,53	7,25
7	15,46	8,20	7,26
8	15,46	12,63	2,83
9	15,05	7,53	7,52
10	14,92	9,00	5,92
11	15,19	7,93	7,26
12	15,59	8,47	7,12
13	15,32	12,36	2,96
14	15,32	8,33	6,99
15	14,78	8,33	6,45
16	14,65	7,66	6,99
17	15,46	8,2	7,26
18	15,05	10,08	4,97
19	15,46	8,2	7,26
20	14,78	7,8	6,98
Média	15,09	8,82	6,27
Máximo	15,59	12,63	7,52
Mínimo	14,52	7,53	2,83
Desvio Padrão	0,324336	1,561272	1,531425

3.0 CONCLUSÕES

Com a utilização da norma IEC 61850 o sistema elétrico ganha velocidade na eliminação da falta, pois substituindo a fiação rígida de contato por mensagens GOOSE verifica-se que no esquema de proteção da falha de disjuntor, se reduz o tempo de eliminação de falta numa média de 6,27ms.

Apesar de ser um ganho relativamente pequeno, isso reduz o tempo de falta aumentando a vida útil do disjuntor, do componente protegido e ajuda a manter a estabilidade do sistema elétrico.

O uso de msg GOOSE facilita a configuração de esquemas lógicos de proteção para os projetistas devido à redução de cabeamento e facilidade na troca de informações entre os IED's. Esse trabalho mostrou o ganho na velocidade de eliminação da falta no caso de falha de disjuntor. Ganhos similares são esperados nos outros esquemas de proteção.

Para análise e validação de testes utilizando a norma IEC 61850 é necessário que as malas de testes estejam aptas a trabalhar com mensagem GOOSE.

4.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] PEREIRA JUNIOR, Paulo Sérgio. Experimento de Sobrecarga com 15.000 Mensagens GOOSE por Segundo em uma Rede IEC 61850, e a Investigação de suas Consequências. Recife – PE, XX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, SNPTEE de Novembro de 2009.

[2] PEREIRA JUNIOR, Paulo Sérgio. Testes de Performance em IED's Através de Ensaios Utilizando Mensagens GOOSE (IEC 61850). Belo Horizonte – MG, IX Seminário Técnico de Proteção e Controle, STPC de Junho de 2008.

[3] International Standard IEC61850, Communication networks and systems in substations.

[4] Apostila treinamento Conprove: PAC 1 (Proteção, Automação, Controle e Supervisão com a Norma IEC 61850 - Teórico) e PAC 2 (Proteção, Automação, Controle e Supervisão com a Norma IEC 61850 - Prático).