



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
XXX.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO – V

**GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE
E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA – GPC**

**EXPERIMENTO DE SOBRECARGA COM 15.000 MENSAGENS GOOSE POR SEGUNDO EM UMA REDE IEC
61850, E A INVESTIGAÇÃO DE SUAS CONSEQUÊNCIAS**

Paulo Sergio Pereira Junior* CONPROVE INDÚSTRIA Cristiano Moreira Martins CONPROVE ENGENHARIA Paulo Sergio Pereira CONPROVE ENGENHARIA Gustavo Espinha Lourenço CONPROVE INDÚSTRIA

RESUMO

O Objetivo deste artigo é testar um sistema digitalizado de proteção, interligado por uma rede em IEC 61850, trocando informações em um cenário inóspito com um carregamento especial, utilizando msg de prioridade semelhante.

O trabalho visa responder os seguintes aspectos: E quanto da concorrência entre pacotes caso exista um carregamento de msg goose na rede, poderia isso influir na performance de nosso sistema? (Em relação a uma rede sem carregamento, ou seja com fluxo normal de msgs GOOSE)

São apresentados os resultados de três testes capazes de auxiliar os profissionais da área a interagir corretamente com esta tecnologia, inferindo de forma consciente os resultados obtidos, sendo de grande utilidade e vindo de encontro com a necessidade de mais informações práticas sobre testes, certificação e comissionamento de IEDs envolvendo o protocolo IEC 61850.

Este estudo resume experiências de resultados práticos, alcançados em testes reais realizados em laboratório utilizando simuladores de faltas e IEDs comerciais, avaliando a performance do sistema com e sem a enxurrada de msgs; avaliando assim a troca de informações. Serão expostos resultados na forma de tabelas, demonstrando as diferenças de performance nas lógicas e nos tempos ocorridos em ambos os casos.

PALAVRAS-CHAVE

IEC 61850, IED's, Mensagens GOOSE, Relés de Proteção, Rede de Comunicação de IED's

1.0 - INTRODUÇÃO

Devido ao uso crescente da tecnologia, e a convergência da comunicação, principalmente da norma global IEC 61850 tem-se discutido cada vez mais a respeito das vantagens, possibilidades, riscos, e técnicas envolvidas sob seu prisma.

Para os profissionais e estudiosos envolvidos, possuir uma estrutura de proteção confiável, seletiva, eficaz e estável é um desafio constante. Com a utilização de IEDs modernos, agregando inúmeros recursos em uma única unidade, as possibilidades para promover a troca de informações via rede para implementar funções tornaram-se muito atrativas, reduzindo custos e simplificando os esquemas de proteção. Estes ganhos são incorporados com a migração de filosofia, vindo de encontro aos objetivos do sistema de proteção.

O uso do protocolo 61850 está cada vez mais difundido, porém, alguns poucos ainda possuem uma certa dúvida e um certo receio. Entretanto é inegável que a mesma veio para se consolidar, criando novos desafios para os profissionais, tal como o de avaliar a performance dos dispositivos trocando informações pela rede.

Há três grandes formas de troca de dados estabelecida pela IEC 61850: O Cliente-Servidor, GOOSE e SMV. A primeira forma não possui tempo crítico, não garantindo velocidade; já segunda e a terceira são baseadas na troca de informações com tempos críticos.

A norma 61850 traz vários benefícios, padronizando a comunicação entre IEDs (Interoperabilidade). Uma das partes mais interessantes da norma é a comunicação com requisito de tempo (comunicação em “tempo crítico”), com a substituição das lógicas de comunicação binária, através de fiação rígida, por msg GOOSE. Outra utilização de comunicação com requisito de tempo é a implantação de TC’s e TP’s ópticos ou com digitalizadores de sinais para o envio do sinal do secundário não mais da forma tradicional, analógica, mas sim via rede ethernet (Sampled Measurement Values - SMV).

Um dos temas mais interessantes da norma se dá no âmbito da troca de informações entre IED’s (Intelligent Eletronic Device) através das mensagens GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events). Muitos são seus empregos na forma de comunicação, lógica, trips e etc, substituindo o cabeamento rígido utilizado nas lógicas de proteção e controle. Várias são as vantagens da rede tais como: supervisão da conexão e menor custo de implantação e manutenção.

Focaremos em nosso estudo as mensagens relativas as lógicas, msg GOOSE. e seu comportamento quando de um sistema carregado.

A msg GOOSE é um frame ethernet (Ver Figura 1) que carrega informações de eventos de acordo com a norma IEC 61850. Esta possui como principal atribuição realizar a troca de informações entre as lógicas de proteção, substituindo a tradicional fiação rígida de cobre entre os relés.

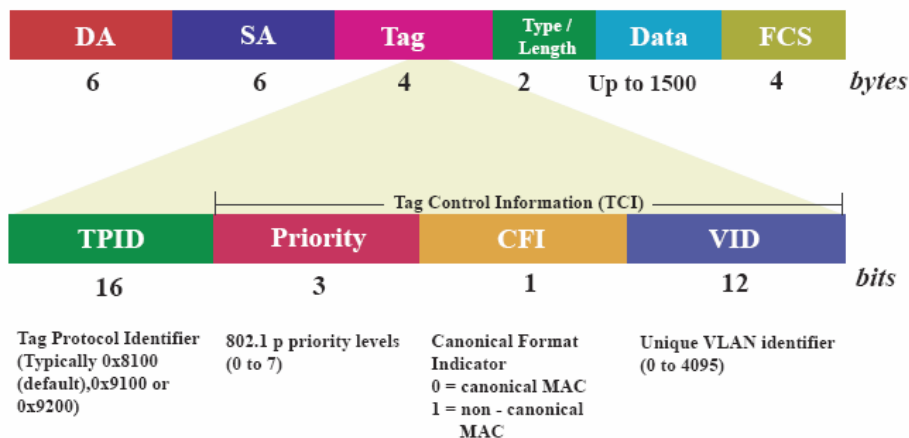


Figura 1: Frame Ethernet

Com todas estas inovações tecnológicas é natural que os engenheiros e técnicos de proteção mais clássicos fiquem um pouco inseguros, pois buscam sempre o melhor da proteção: desempenho e velocidade juntamente com confiabilidade (para que não atue equivocadamente).

2.0 - ASPECTOS RELEVANTES SOBRE A NORMA IEC 61850

A norma IEC 61850 trabalha sobre a Rede Ethernet, uma msg goose nada mais é que um frame ethernet, como já citado, interagindo na segunda camada OSI. Evitando a complexidade e perda de velocidade das camadas superiores. Porém o que mais o pessoal de proteção de sistemas elétricos se pergunta é: Quais os recursos usados para garantir que a msg goose do evento chegará ao destino?

Os pacotes ethernet possuem características adicionais para melhorar seu desempenho e eficácia. Para potencializar seu recebimento as normas Ethernet e a IEC 61850 contemplam as seguintes propriedades:

A) Prioridade (ethernet) IEEE802.1p Priority tags - Evolução da rede ethernet.

- B) Virtual LAN (ethernet) IEEE802.1Q VLAN - Evolução da rede ethernet.
 C) Repetições de envio para garantir a chegada (IEC 61850)

A) Pacote com prioridades de acordo com a IEEE 802.1p - Priority tags

Esta norma já contempla um tratamento diferenciado pelos switches e roteadores para as msg GOOSE através das diferenças de prioridade. O frame ethernet possui tipos de prioridade diferentes, priority tag. Existem 8 níveis de prioridade (de 0 até 7) o padrão GOOSE = 4. Sendo assim a msg GOOSE não teria problema em relação ao pacote "normal" de baixa prioridade em um carregamento.

B) Virtual Lan de acordo com a IEEE 802.1Q - VLAN

Possibilita separar virtualmente uma rede onde os dispositivos estão interligados fisicamente, diminuindo o fluxo de dados que trafegam sem necessidade por certa parte da rede, poupando assim a largura de banda.

C) Repetições de Envio de acordo com a IEC 61850

A norma IEC 61850 prevê repetições para o envio de msg goose na ocorrência de um evento, visando garantir a sua chegada, caso um pacote seja extraviado. No momento do evento será enviada uma msg, posteriormente haverá repetições em intervalos de tempo seguindo uma progressão geométrica.

Por exemplo: Um sistema que já opera estável, envia uma msg de confirmação a cada 1s. A partir da ocorrência de um evento, imediatamente é enviada uma msg deste evento e posteriormente inicia-se o processo de repetições, com um multiplicador 2, e supondo os seguintes ajustes: $t_{min} = 1ms$ e $t_{max} = 1s$, a segunda msg do evento seria enviada em 1ms a terceira em 2ms e daí por diante: 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024ms; voltando a operar em regime estável, e repetindo a msg a cada 1 segundo.

Isto facilita a entrega do pacote aumentando em várias vezes sua probabilidade de sucesso.

De acordo com as propriedades citadas acima, não haveria problemas, quando da existência de um carregamento na rede, e este carregamento for proveniente de pacotes com prioridades menores ou sem prioridade. Contudo surgem alguns questionamentos sobre o comportamento da rede:

E quanto da concorrência entre pacotes caso exista um carregamento de msg goose na rede, poderia isso influir na performance de nosso sistema? (Em relação a uma rede sem carregamento, ou seja com fluxo normal de msgs GOOSE).

2.1 Da hipótese

Para que exista uma taxa de mensagens tão alta alguns itens são necessários. Tal como, uma rede com muitos IED's, cada IED configurado para envio de muitas msg e essas mensagens serem atualizadas em um intervalo pequeno de tempo.

Exemplo:

Uma grande subestação digitalizada com 20 bays, sendo dois relés por bay (um principal e outro retaguarda), sendo assim 40 relés. Cada um destes relés possui 30 DataSets, ou seja enviam 30 msgs diferentes. Se todas estas msgs fossem atualizadas a cada 500ms ou a cada 100ms. Teríamos os seguintes números, conforme a Tabela 1.

Tabela 1- Calculo da Taxa de Mensagens por Segundo

	Nº de IED's	Nº de MSGs ou DataSets	Nº de Atualizações por Segundo	Nº de Msgs por Segundo	Tipo de Trafego
1	40	* 30	* 2	= 2.400	Trafego Médio
2	40	* 30	* 10	= 12.000	Trafego Pesado

Se cada mensagem possuir 200 bytes, na situação 2 o trafego seria de 19,2 Mbits/s, ou seja, seria necessário um Switch de 100 Mbits/s para comportar este trafego.

15.000 msg/s;

1s = 1000ms

$1000ms / 15000 \text{ msg} = 0,067ms = 67 \mu s$ é o Período entre uma msg e outra.

Este é o tempo que o processador deve concluir a análise da mensagem atual para atender e analisar a próxima mensagem.

Um carregamento por um pequeno período de duração também poderia ser amortecido pelas memórias de buffers de recebimento enquanto o processador realiza a tarefa de interpretar as msgs.

Se o relé disparar a enviar msg goose sem critério devido a uma falha interna, isso comprometeria a rede? E´ o que será verificado nos itens a seguir.

2.2. Implementação da lógica selecionada

Muitas podem ser as lógicas implementadas utilizando a tecnologia da troca de informações através da Norma IEC61850. Para a realização dos testes descritos neste trabalho foi utilizada a função 50BF. Sendo avaliado neste artigo o comportamento da proteção contra falha de disjuntor, através de ligação via msg GOOSE, com e sem a presença de carregamento com frames de alta prioridade.

Os IEDs foram montados de forma a simularem um sistema de proteção envolvendo um transformador de força e uma barra de derivação com vários ramais de saída. Este sistema pode ser facilmente expandido para uma lógica de proteção do ramal de entrada de subestação, por exemplo, sendo esta servida por um alimentador de 230kV, um trafo de 200MVA e na saída da barra quatro alimentadores distintos de 69kV alimentando as cargas. Ver Figura 2.

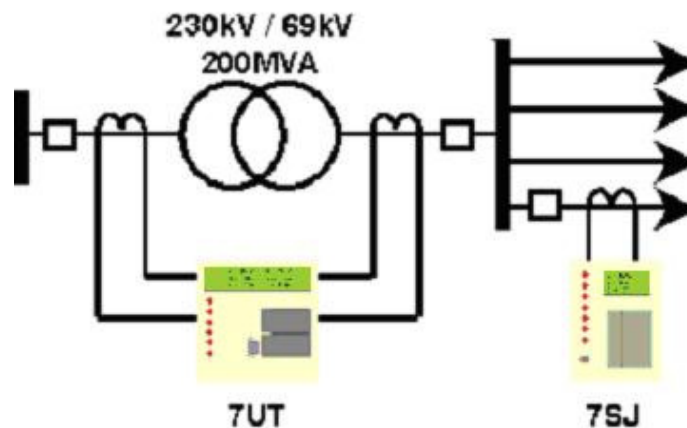


Figura 2: Desenho do sistema, 7ut e 7Sj (sistema em campo)

Caso o disjuntor do 7SJ falhe, o IED deve enviar uma msg de comando para o 7UT a montante para que esse abra seu disjuntor. O envio deste comando será implementado através da troca de msgs GOOSE, onde serão realizadas diversas condições adversas de trafego na rede de comunicação.

2.3. Testes realizados

Serão realizados testes nos relés em três condições diferentes e sendo montada uma tabela com os resultados para cada condição.

Inicialmente será feito um teste na condição natural sem carregamento algum. Este teste deve ser realizando para confirmar todo o funcionamento da função 50BF sendo empregada através da rede 61850 e coletar os dados de referencia para comparação e análise.

No segundo teste haverá um carregamento GOOSE na rede, porém o Switch será parametrizado com Virtual Lans, impedindo que esta avalanche chegue ao IED que deverá receber a msg goose que estamos avaliando. Verificando assim se a performance da lógica implementada foi ou não alterada.

Posteriormente o terceiro teste contempla um carregamento da rede através de msg goose com a mesma prioridade da msg critica que estamos checando, conforme o segundo testes, porém, neste caso será avaliado se a msg chegará no IED a montante e o tempo que levará, sem separação do trafego por redes virtuais.

Para a realização dos testes serão utilizados: Relés Siemens 7UT e 7SJ, Switch RuggedCom e a Mala de Calibração de Relés modelo CE-6006, marca CONPROVE (desenvolvida no Brasil). Além do software Tamarak para carregar a rede e Ethereal para monitoramento da taxa de mensagens.

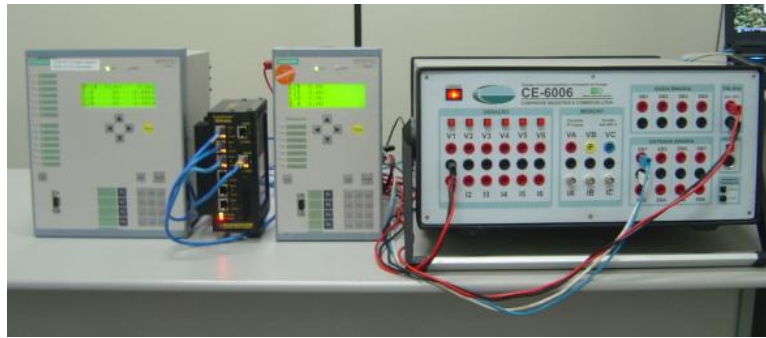


Figura 3: Foto do Sistema em Teste

A corrente é injetada pela mala de testes Conprove modelo CE-6006 no IED 7SJ (relé a jusante), o mesmo envia um comando para abertura do seu disjuntor, a jusante, (Função 50: Tempo= 0s + inércia), após 100ms o 7SJ verifica que a corrente permanece (portanto o disjuntor não extinguiu a falta), sendo assim envia uma informação através da rede IEC 61850 via msg GOOSE para o relé 7UT a montante, e quando o IED 7UT recebe a msg GOOSE envia um trip para a o disjuntor a montante.

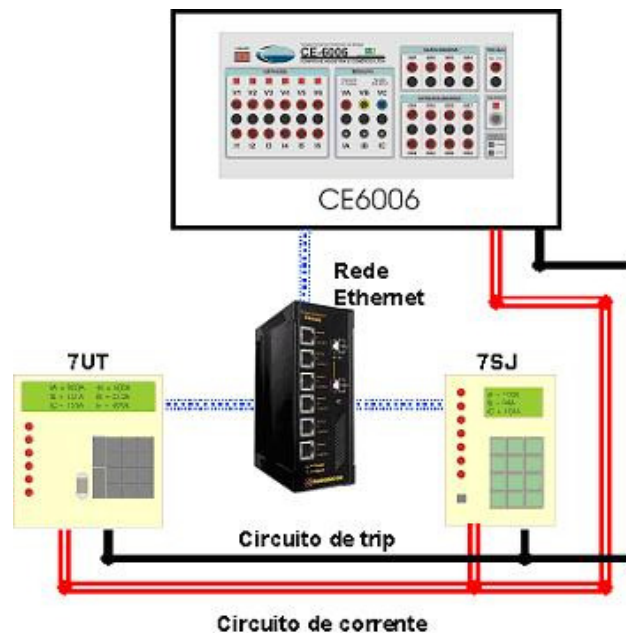


Figura 4: Diagrama de Interligação entre os dispositivos

2.3.1. Primeiro teste – teste de performance, sem carregamento

Foram realizados testes sem nenhum carregamento intencional da rede, coletando assim o dados de referência para as análises. Os resultados dos testes se encontram na tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Tabela de Resultados Sem Carregamento

Nº Teste	Tempo [ms]	Resultado
1	134,7	OK
2	136,5	OK
3	134,5	OK
4	130,2	OK
5	129,5	OK
6	127,9	OK
7	132,9	OK

8	136,0	OK
9	139,1	OK
10	135,7	OK
Média	133,70	---

2.3.2. Segundo teste – rede carregada com pacotes goose, porém com separação de trafego através de virtual lan's.

Para o segundo teste a rede foi dividida em duas redes virtuais. O Switch RuggedCom foi parametrizado de modo a direcionar apenas o trafego das msgs GOOSE de carregamento (com VLAN ID 002) para as portas do switch onde os IED's não estão conectados. Visto que a msg que estamos avaliando possui o VLAN ID 001, esta estaria liberada para apenas as portas onde os IED's se encontravam. Abaixo segue uma figura ilustrativa da utilização de virtual lans.

O carregamento foi feito através do envio de 15.000 mensagens GOOSE por segundo enviado pela rede.

Foi verificada através de analisadores de protocolo cada uma das oito portas do Switch a fim de garantir quais portas estaria com o carregamento presente e quais não estariam carregadas.

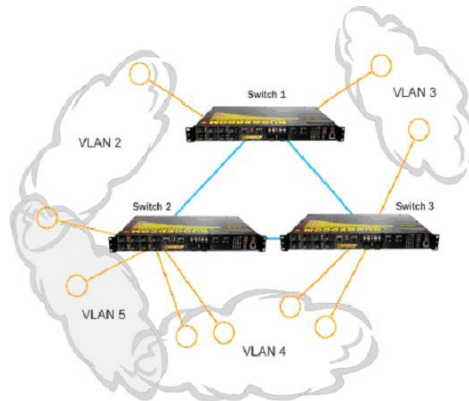


Figura 5: Ilustração da Utilização das Virtual Lans

Tabela 3 – Resultados com Virtual Lan Parametrizada

Nº Teste	Tempo [ms]	Resultado
1	137,9	OK
2	125,8	OK
3	133	OK
4	127,4	OK
5	134,6	OK
6	137,4	OK
7	143,9	OK
8	128,9	OK
9	134,2	OK
10	137,4	OK
Média	134,05	---

2.3.3. Terceiro teste – rede carregada com pacotes goose sem separação de trafego

Foram realizados testes com o carregamento intencional da rede através do software Tamarak enviando quinze mil msgs GOOSE por segundo na rede na qual os IED's trocavam informações.

Para realizar esta avaliação, os teste foram feitos da seguinte forma: A rede foi carregada com 15.000 msgs goose por segundo que não deveriam ser tratadas pelo IED, verificando se e a mensagem primordial seria afetada. Os resultados estão na Tabela 4

Tabela 4 – Tabela de Resultados Com Carregamento GOOSE

Nº Teste	Tempo [ms]	Resultado
1	140,6	OK
2	129,6	OK
3	133,4	OK
4	136,7	OK
5	128,5	OK
6	128,8	OK
7	134,3	OK
8	136,7	OK
9	138,4	OK
10	142,6	OK
Média	134,96	---

Para comprovar o nível de carregamento o software Ethereal (como pode ser visto na Figura 6), que é um sniffer de rede foi utilizado. Este software captura todos os pacotes que trafegam pela rede e decompõe seu conteúdo conforme as camadas OSI.

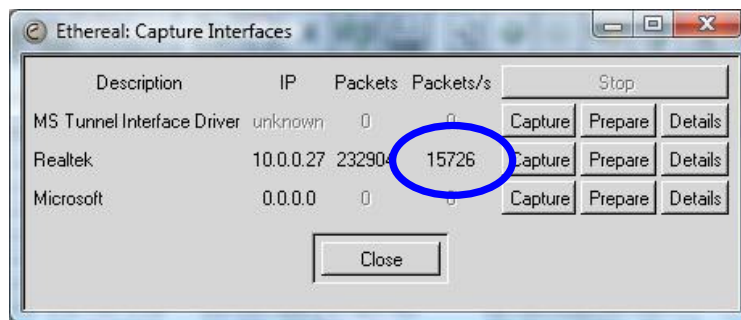


Figura 6: Tela do Software Ethereal demonstrando a taxa do carregamento de msgs GOOSE

Como resultado dos três testes obtemos o gráfico da figura 7, com a comparação de tempos. Onde no eixo X se encontra o numero do disparo e no Y o tempo de resposta para cada um, em milissegundos, nas três condições de testes: sem carga, com carga desviada pela Virtual Lan e a terceira com carregamento direto.

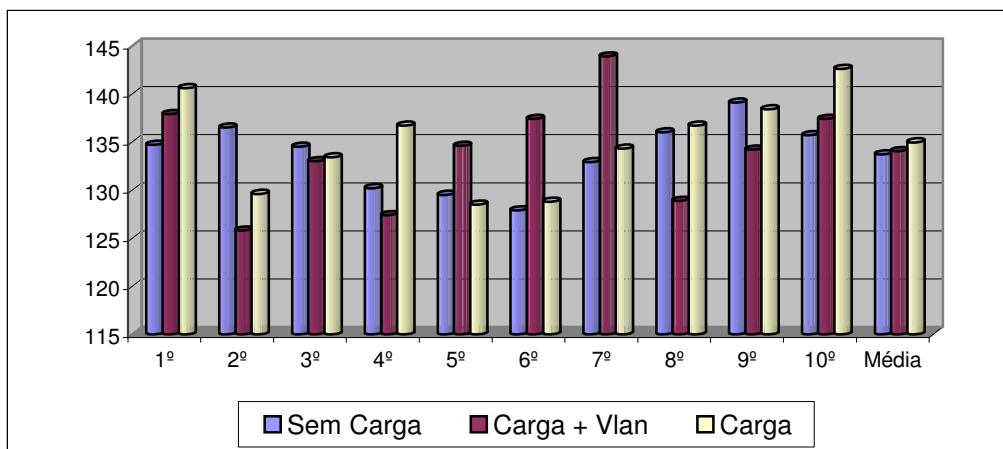


Figura 7: Gráfico de Comparação de Tempos

Em todas as condições de teste foram realizados dez disparos, visando trabalhar com um valor médio a fim de evitar pequenas variações de tempo inerentes do próprio IED.

3.0 - CONCLUSÃO

A norma IEC 61850 possui vários benefícios quanto à troca de informações através de MSGs GOOSE ao invés da fiação rígida de contato. Simplifica o sistema, permite fácil expansão e se mostrou bastante eficaz mesmo em condições adversas com o carregamento da rede.

Com as características da rede ethernet e da norma IEC61850 utilizamos o artifício da Virtual Lan de modo a separar o tráfego que não interessaria, e fazendo com que os testes obtivessem bons resultados, totalizando uma alteração média de apenas 0,35ms no tempo em relação à rede sem carregamento. Outro aspecto da norma que foi abordado é a repetição da mensagem GOOSE do evento, garantindo assim a sua entrega mesmo no caso de um pacote ser perdido.

Os testes realizados mostraram que o emprego do carregamento de msg GOOSE através da rede IEC 61850 não trouxe modificações drásticas na performance da proteção conforme era esperado.

De acordo com os testes realizados não houve grandes diferenças quanto aos tempos da proteção com e sem carregamento, demonstrando na prática que se ocorresse uma avalanche de msg GOOSE o sistema não seria afetado.

Sendo assim mesmo em uma condição extremamente inóspita, realizada no terceiro teste, a diferença média em relação ao teste de referência foi de 1,26 ms sendo relativamente pequena, visto que significa menos do que um décimo de ciclo; consolidando assim a tecnologia.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Testes de Performance em IED's através de ensaios utilizando mensagens GOOSE (IEC61850) – Pereira Junior, P.S. - Seminário Técnico de Proteção e Controle, STPC de 2008.

(2) Flores, V. M.; Espinosa, D.; Dolezilek, D.; Alzate, J. Case Study: Design and Implementation of IEC61850 From Multiple Vendors at CFE La Venta II.

(3) Brand, K. P.; Janssen, M.; The Specification of IEC61850 Based Substation Automation Systems.

(4) Brand, K. P.; Wimmer, W.; Ostertag, M. Safety related, distributed functions in substations and the standard IEC 61850. 2003, Bologna Power Tech Conference.

(5) IEEE Technical Report 1550(1999) Utility Communications Architecture, UCA disponível em: http://www.nettedautomation.com/news/n_51.html
International Standard IEC61850, Communication networks and systems in substations.

(6) Site: <http://www.javvin.com/protocol8021P.html>