



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

FI/GTL/17
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – XV

**GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS
- GTL**

REDE DE FIBRA ÓPTICA INOVADORA PARA SISTEMA DE ENERGIA EFICIENTE

Gilson R. Stremel(*)
Furukawa Ind. S.A.

Takumi Matsumoto
Furukawa Ind. S.A.

Wagner C. Bressan
Furukawa Ind. S.A.

Daniel A. Oleiniki
Furukawa Ind. S.A.

RESUMO

A penetração de energia renovável através da utilização de painéis solares, pequenas células de geração de energia, como as que utilizam gás por exemplo, a mudança do estilo de vida da população, a utilização de veículos elétricos e etc. irá mudar no futuro o sistema de distribuição de energia de um sistema concentrado para um modelo de sistema distribuído. Smart Grid significa que a energia é gerenciada, otimizada e economizada através da utilização de informações inteligentes. Nesse sentido, companhias elétricas precisam ter uma visão a longo prazo direcionada para inovação do estilo de vida no futuro. Nossa conclusão é que as companhias de energia elétrica precisarão ter seus próprios métodos de aquisição de informação gerando suas próprias redes de informações.

Neste documento, nós apresentamos alguns tipos de sistemas de rede que foram desenvolvidos e testados por várias companhias de energia elétrica no mundo. Além disso nós enumeramos as fraquezas que esses sistemas podem apresentar no futuro, e finalmente, nós propomos um novo sistema de rede inteligente otimizado para sistemas reais de Smart Grid previstos para os próximos 10 ou 20 anos.

PALAVRAS-CHAVE

SmartGrid, Fibra Óptica, FiberMesh, Distribution Automation System (DAS), Advanced Metering Infrastructure (AMI)

1.0 - INTRODUÇÃO

O mercado de automação de energia elétrica brasileira está realizando grandes avanços visando a melhoria da qualidade de energia fornecida à população. Os indicadores de qualidade de energia fornecida em outros países, como no Japão, é muito melhor do que a fornecida no Brasil [1], o que possibilita ao mercado brasileiro escolher uma abordagem de automação para este setor baseado no que pode ser visto em outros países. A Furukawa desenvolveu um novo conceito de produto chamado FiberMesh especialmente para utilização em redes Smart Grid [2]. Com o FiberMesh é possível realizar uma rede de comunicação com topologia em malha (mesh) utilizando fibras óticas. Cada modem FiberMesh tem sua própria inteligência embarcada e cada um deles "fala" com o modem FiberMesh vizinho através de protocolo AODV modificado para transmissão sobre fibra óptica. O FiberMesh é capaz de criar qualquer tipo de topologia de rede, como "topologia em árvore", "topologia em anel", "topologia de malha", etc. Caso seja necessário expandir a área da rede isso pode ser realizado apenas conectando um novo modem FiberMesh sem a necessidade de complicados processos de provisionamento, além disso, cada um deles precisa de apenas uma fibra para começar a comunicar. Por exemplo, se quisermos criar 1.000 pontos de acesso, precisaremos 16 ou 32 fibras no caso de uma rede PON, já na solução FiberMesh, podemos realizar isso com apenas uma fibra. Outra vantagem seria a possibilidade de cobrir grandes distâncias sem a limitação padrão da rede PON (cerca de 10 km para configurações normais).

O significado do verdadeiro Smart Grid é controlar e otimizar a energia através de tecnologias inteligentes com um meio de comunicação de dados seguro e confiável [3]. A produção de energia local no futuro, que se traduz na tendência de “descentralização”, não está presente apenas no mundo da energia elétrica, mas também no mundo da tecnologia da informação como no “cloud computing”, o que cria naturalmente uma topologia MESH. Em vista disto, o Centro de Desenvolvimento de Banda Larga da Furukawa no Brasil está desenvolvendo uma nova geração de FiberMesh com melhor performance e maior inteligência embarcada. Atualmente a Furukawa estuda o potencial do FiberMesh em colaboração com várias companhias de energia no Brasil onde, através de instalações piloto para execução de prova de conceito, avalia os ganhos operacionais inicialmente na aplicação em DAS (*Distribution Automation System* – monitoramento e controle) e AML (*Advanced Metering Infrastructure* – smart metering) [4] [5].

2.0 - DESENVOLVIMENTO

Vários métodos de comunicação tem sido propostos ao longo do tempo para utilização em redes de Smart Grid. Diversas companhias de energia elétrica testaram essas tecnologias através de projetos pilotos não apenas no Brasil, mas também ao redor do mundo. Por isso, antes de descrever nossa solução, gostaríamos de falar sobre a infraestrutura de rede atual que vem sendo utilizada para este fim.

2.1 Serviço Geral de Pacote por Rádio (GPRS)

O GPRS foi introduzido e usado com o objetivo de simplificação da infraestrutura. Esse sistema não necessita que seja preparada uma infraestrutura de rede física dedicada, pois utiliza a rede de telefonia celular existente e pode ser realizado rapidamente com o cadastro do modem GPRS na(s) operadora(s) local. O custo operacional desta solução é a taxa mensal do serviço, pago para companhias de telefonia móvel, além do valor do cartão SIM. Isso parece a princípio uma grande vantagem entretanto, a qualidade da rede GPRS no Brasil não é tão alta o que torna a rede de comunicação para Smart Grid instável, o que também acontece até mesmo no Japão ou EUA, por isso, se alguma falha acontecer a rede pode não ser capaz de funcionar adequadamente por indisponibilidade do canal de comunicação. São exemplos típicos de problema as áreas remotas com baixa atratividade para as operadoras de telecomunicações, e áreas com grande sazonalidade populacional como as existentes em cidades balneárias nos meses de férias e cidades com grande fluxo passante de turistas. Por isso muitas companhias de energia em vários países, que já utilizaram a tecnologia GPRS começaram a considerar outras formas de transmissão de dados que permitam estabilidade e continuidade de serviço não importando a demanda, ver Figura 1.

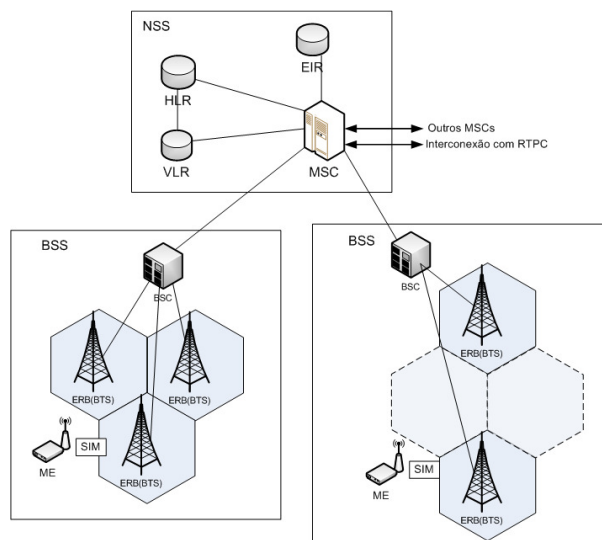


FIGURA 1 – Diagrama Típico de Rede GSM/GPRS (detalhe da área de cobertura da BSS)

2.2 Redes Rádio (RF Mesh)

Uma outra opção de rede de comunicação é a utilização de redes de rádio (RF-Mesh). O RF-Mesh é uma forma de construir uma rede em topologia mesh conectando um rádio ao outro através de um sinal de radiofrequência. Em uma rede nesta tecnologia é possível alcançar largura de banda de 1Mbps usando faixas de frequência livres ou dedicadas (frequências licenciadas pela agência reguladora dos serviços de telecomunicações ANATEL). Essa tecnologia é suficiente para o nível de controle atual, como o controle por telecomando de chaves de potência, monitoramento do sistema de energia, informações de medição com frequências de aquisição diária ou semanal por exemplo. Entretanto, essa capacidade de transmissão de dados não é suficiente para um sistema de Smart

Grid real que deverá ser utilizado no futuro. O número reduzido de saltos (hops) para manter uma taxa de transmissão mínima e a possibilidade de interferência no espectro de rádio, tornando a comunicação instável, reduzem a eficiência desta solução, ver Figura 2.

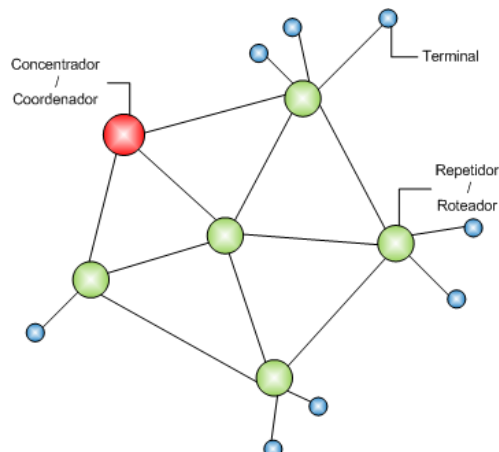


FIGURA 2 – Diagrama Típico de Rede RF-Mesh (ref. TD ZigBee)

2.3 Redes Ópticas Passivas (E/G-PON)

A próxima opção diz respeito a redes de fibra óptica construídas por companhias de telecomunicações, provedores de acesso internet e CATV. O sistema Passive Optical Network (PON) é uma alternativa custo efetivo para o modelo de rede de acesso tipo Fiber To The Home (FTTH). Esse sistema é realizado através de um Optical Line Terminal (OLT) localizado em um ponto específico da companhia de telecomunicações, e um máximo de 64 Optical Network Units (ONUs) localizadas nas casas dos usuários ou em gabinetes externos. Esses dispositivos podem ser conectados através de apenas uma fibra ótica utilizando-se de splitters óticos. Nesse sistema de comunicação cada ONU conhece o seu próprio time frame (definido pela OLT) para envio de sinais à OLT, evitando colisão de sinais com outras ONUs. A tecnologia PON é a maneira mais eficiente de transmitir dados em banda larga entre um escritório central e os assinantes. Isso significa que a inteligência do sistema está na OLT e não na ONU. Entretanto, esse modelo de rede sugere concentração perto do CENTRAL OFFICE, ou seja, se um acidente ocorrer na rede externa perto desta localidade pode ocasionar uma grande falha no sistema. Por exemplo, se uma OLT apresentar defeito, todas as ONUs não funcionarão e dependendo da falha pode demorar alguns minutos para que a OLT seja reestabelecida dependendo do tamanho da rede. Prover redundância de rota neste tipo de topologia de rede significa duplicar toda a infraestrutura. Esse é o problema mais crítico quando da utilização desta tecnologia em redes de Smart Grid no futuro, ver Figura 3.

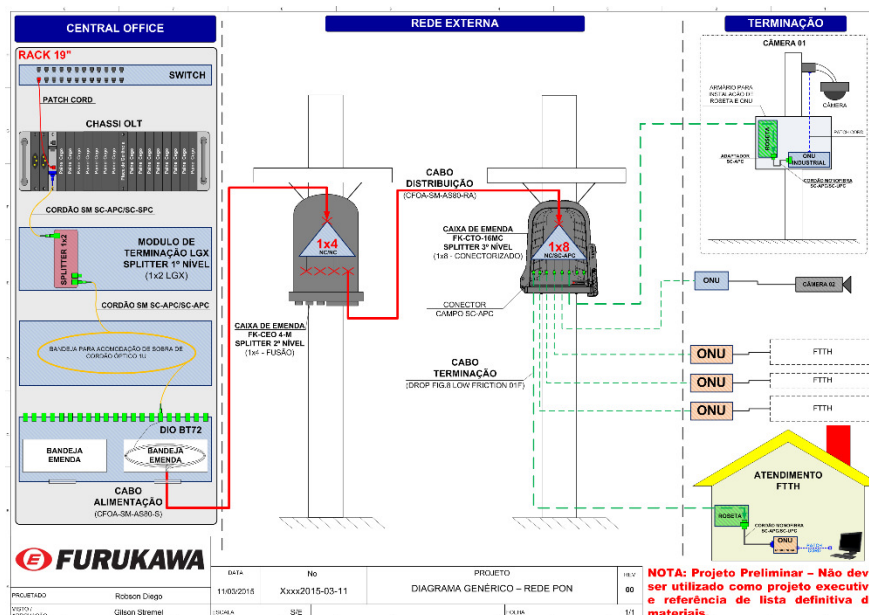


FIGURA 3 – Diagrama Típico de Rede PON (E-PON)

A (Figura 5) descreve a topologia FiberMesh, se a rede quer se comunicar a partir do ponto α com o ponto β , a rede FiberMesh cria automaticamente uma rota de transmissão de dados eficiente como a representada pela linha pontilhada vermelha. Se algum acidente ou falha acontece no ponto **X** (Figura 6), como por exemplo um rompimento da fibra ótica, o FiberMesh pesquisa e calcula uma nova rota em menos de 1 segundo. No caso de um modem FiberMesh apresentar uma falha como no ponto **Y** (Figura 7) uma nova rota também é descoberta para a comunicação. Agora se um acidente crítico também acontecer como uma falha de energia no ponto **Z** (Figura 8), mesmo nestas condições, o FiberMesh ainda é capaz de criar uma nova rota através de um “by-pass” do acidente, que é realizado através de um switch ótico presente no modem.

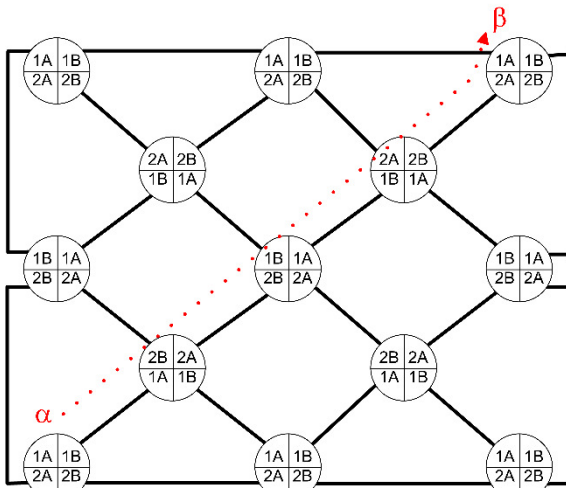


FIGURA 5 – A rede FiberMesh define uma rota otimizada automaticamente entre α e β

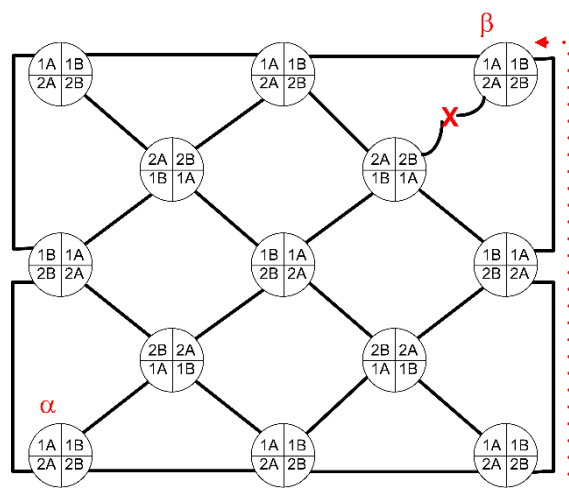


FIGURA 6 - Falha ocorre no ponto X, uma nova rota é calculada e roteada automaticamente

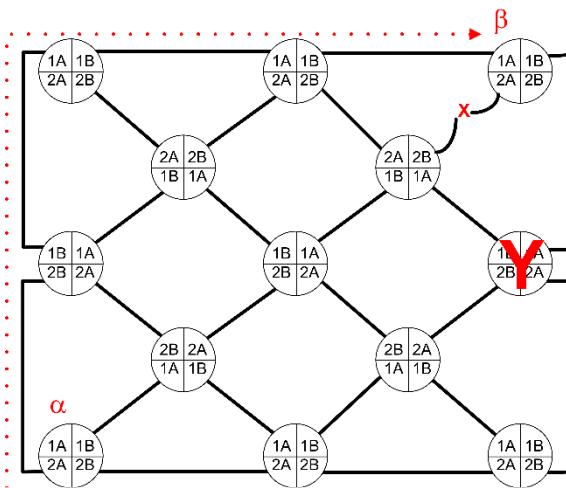


FIGURA 7 – Falha ocorre no ponto Y, uma nova rota é calculada e roteada automaticamente

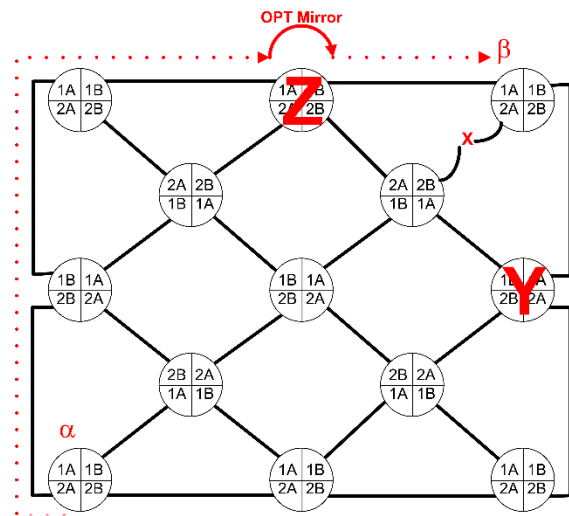


FIGURA 8 - Falha ocorre no ponto Z, uma nova rota é calculada e roteada automaticamente

2.4.2 Protocolo de Roteamento.

A Furukawa desenvolveu, a partir do original definido pela IETF RFC 3561, um protocolo Ad-hoc On Demand Vector (AODV) modificado que oferece altas taxas (dezenas de Mbps) e fácil gerenciamento. O sistema óptico multi-hope (FiberMesh) consiste de um software, com a modificação do AODV, pilha de protocolos TCP/IP sobre Ethernet, softwares de aplicação e diversas portas de comunicação AODV (portas ópticas) e portas gateway (portas não AODV p.ex.: Ethernet, RS232).

Este sistema atua basicamente em resposta ao envio de dados por um software de aplicação (p.ex.: SCADA) ou a partir do recebimento de pacotes em qualquer porta de comunicação. A pilha TCP/IP recupera o endereço IP desses dados / pacotes e encontra a informação para onde enviar. Se a pilha TCP/IP falhar neste processo o endereço IP é repassado para a parte AODV da pilha, assim o processo de roteamento é iniciado até localizar o próximo destino. A pilha AODV retorna o resultado para a pilha TCP/IP que agora pode encaminhar os dados / pacotes. A pilha AODV grava estes resultados de roteamento o que permite respostas rápidas no caso de novo encaminhamento de dados / pacotes para o mesmo endereço, ver Figura 9. Do mesmo modo a pilha AODV verifica periodicamente se as rotas gravadas ainda são válidas e, no caso de inconsistência, é gerado um alarme.

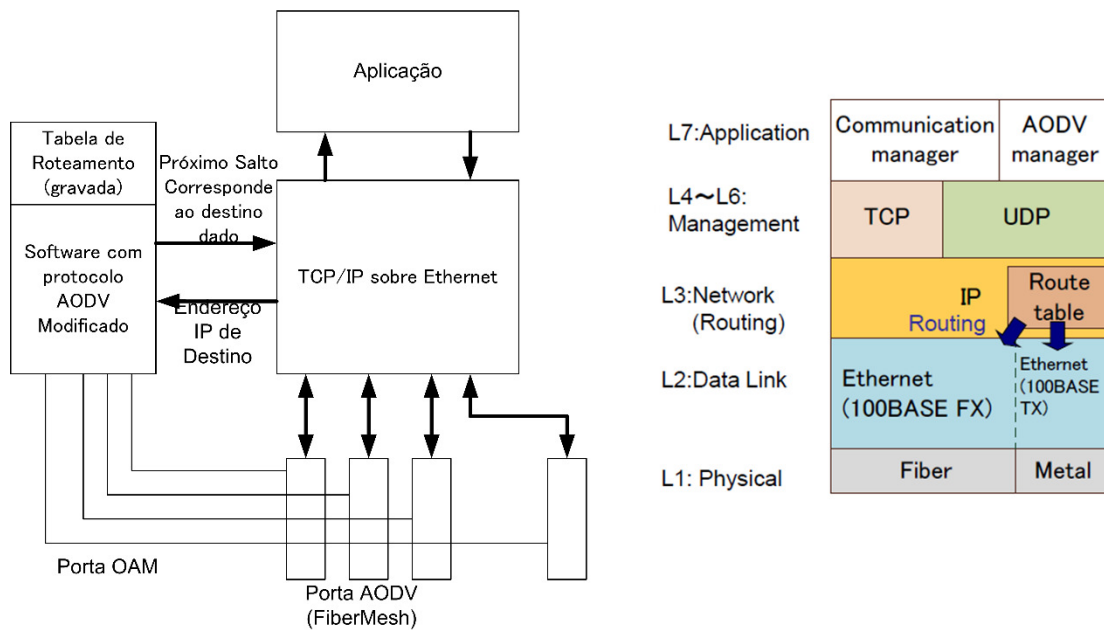


FIGURA 9 – Pilha de Protocolos

2.4.3 By-Pass Óptico.

A utilização do equipamento modem roteador FiberMesh com função “by-pass” das portas ópticas é definida por critério de projeto da rede, normalmente onde há uma concentração de rotas ou quando exista uma sequência em série sem que se tenha possibilidade técnica de ligação das portas ópticas 3 e 4. No projeto de rede real é possível verificar estas abordagens no caso de subestações, onde existe concentração de rotas, e alimentadores de MT que passam por áreas remotas onde não há ruas suficientes para a utilização de rotas redundantes, ver Figura 10.

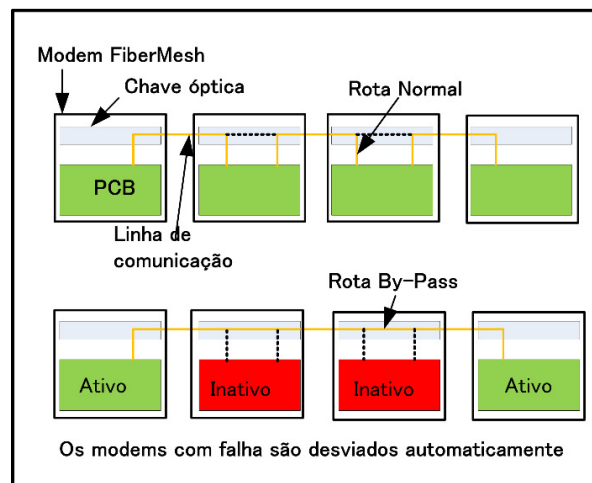


FIGURA 10 – By-Pass Óptico

2.4.4 Projeto de Rede FiberMesh.

Em tese, a partir das subestações (SE), procura-se utilizar as mesmas rotas dos alimentadores de MT para fechar um “anel” óptico entre elas. Deste modo é possível uma rota de dados direta entre as subestações utilizando-se as portas 1 e 2 dos modem roteadores FiberMesh destas localidades. A partir das portas 3 e 4 destes mesmos equipamentos inicia-se redes mesh locais na área de abrangência de cada subestação, interligando os dispositivos de automação, medição e outros conforme a disponibilidade de rotas e infraestrutura de postes e dutos para a instalação dos cabos ópticos. Nas Figuras 11 e 12 vemos um exemplo de projeto de rede para automação A-DAS com a utilização da premissa de projeto apresentada.

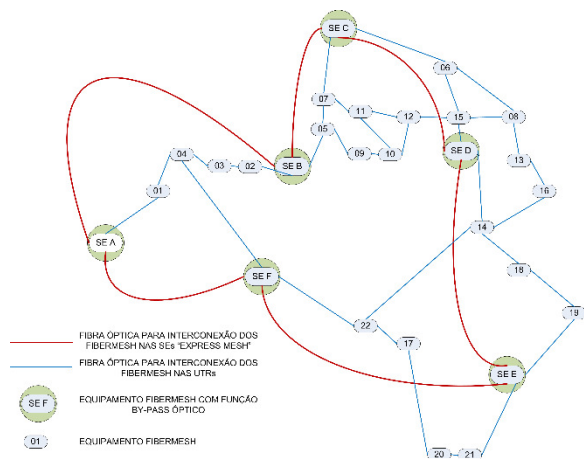


FIGURA 11 – Diagrama de Conexão Básico FiberMesh com localização de pontos "by-pass"

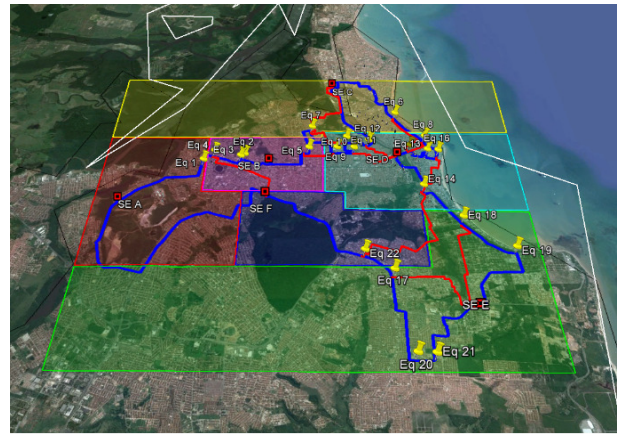


FIGURA 12 – Mapa de Conexão Detalhado com rotas de Cabos Ópticos

2.5 Aplicação em Sistema de Automação Distribuída (DAS)

Espera-se que o sistema que mais se beneficie com a utilização do FiberMesh seja o DAS. Especialmente o Advanced DAS que, conforme o próprio nome revela, trará funcionalidades avançadas de controle e gerenciamento para selfhealing e geração distribuída nas redes elétricas. O sistema DAS executa a operação de comutação automaticamente quando um ponto de falha é detectado. No exemplo da Figura 13 mostra uma imagem do sistema de distribuição de energia onde algum acidente ocorre na seção 3. O Gráfico 1 mostra a relação entre o número de casas afetadas pela falta de energia (eixo Y) e tempo de reparo (eixo X). Quando um acidente ocorre na seção 3 nesta rede, as seções 1 e 2 reiniciam por si só dentro de poucos minutos através da função temporização de "auto-reset" dos equipamentos seccionadores de energia automatizados. No entanto, as demais casas das seções de 3 à 6, precisam esperar pela equipe de manutenção de campo para receber energia elétrica o que leva aproximadamente 40 minutos. A Figura 14 mostra o sistema de distribuição de energia após a instalação da rede de comunicação FiberMesh e o Gráfico 2 mostra o resultado depois de instalar o sistema em conjunto com DAS. Neste exemplo, 83% das residências poderiam receber energia em apenas 10 minutos após a ocorrência do acidente da rede de energia elétrica.

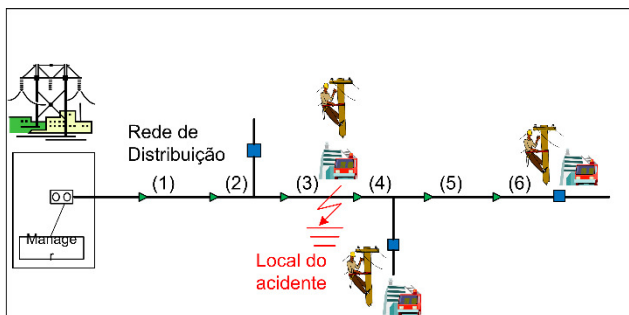


Figura 13 – Operação utilizando seccionadores de energia temporizados com detecção de falha

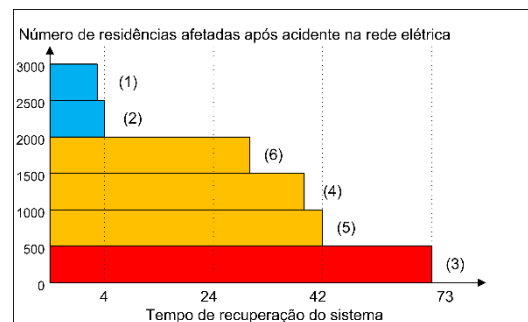


Gráfico 1 – Demonstrativo do tempo de recuperação do sistema elétrico

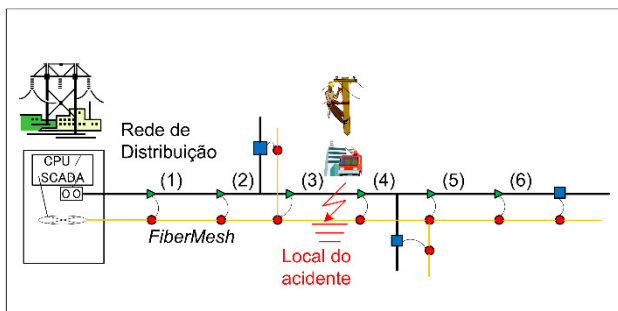


Figura 14 – Operação utilizando seccionadores de energia com comunicação via rede FiberMesh e operação remota

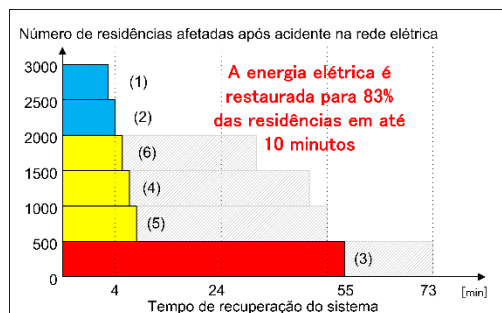


Gráfico 2 – Demonstrativo do tempo de recuperação do sistema elétrico

2.5.1 Aplicação nas redes Smart Grid

Quando falamos sobre a utilização de fontes de energia renováveis no futuro, o sistema elétrico será alterado do modelo concentrado para um modelo distribuído. Um modelo concentrado significa que a energia elétrica é produzida em grande quantidade na usina de geração, transmitida e distribuída para os consumidores. Um modelo distribuído significa a presença de micro geradores residenciais de energia, tais como painéis solares, geradores eólicos ou a gás, baterias de veículos elétricos e assim por diante, que produzem energia em pequena escala mas em grande número, ver Figura 15. Quando estes micro geradores são conectados à rede de distribuição a tensão presente nos alimentadores pode não ser constante, podendo depender de condições meteorológicas, horário, estilo de vida da população e vários outros fatores. O Gráfico 3 é um exemplo da relação entre a distância do transformador e a variação da tensão de distribuição relacionada com as condições meteorológicas instantâneas. Neste exemplo, com a utilização de painéis solares, a rede de gerência e controle terá que adquirir dados com uma frequência muito alta para manter a rede sobre controle visto que as condições podem variar muito rapidamente. Neste sentido, a rede FiberMesh é extremamente adequada para realizar a gestão em tempo real. Um cenário com dispositivos de controle de tensão é mostrado na Figura 16, com o respectivo resultado operacional no Gráfico 4.

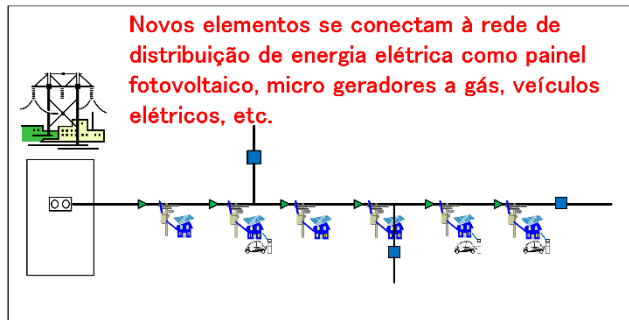


Figura 15 – Sistema de distribuição de potência após várias residências utilizando painéis solares e veículos elétricos

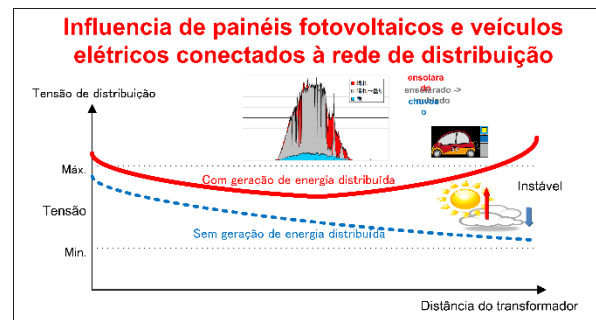


Gráfico 3 – Tensão x distância do transformador (sistema sem regulação de tensão elétrica)

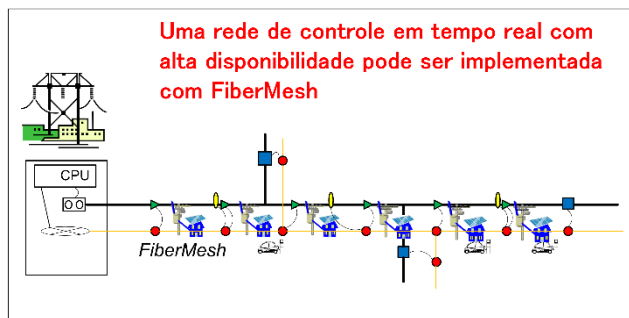


Figura 16 – Sistema de distribuição de potência após várias residências utilizando painéis solares e veículos elétricos e introdução da rede de comunicação FiberMesh

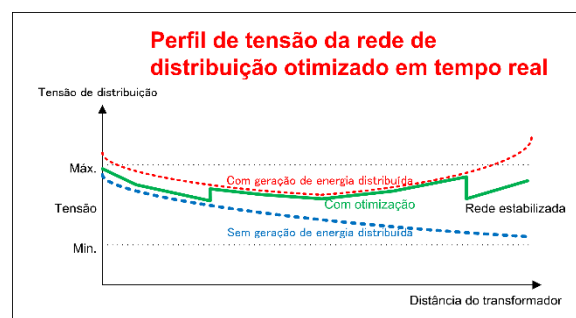


Gráfico 4 – Tensão x distância do transformador (sistema com regulação de tensão elétrica)

2.6 Aplicação em Sistema de Infraestrutura de Mediação Avançada (AMI)

Outra aplicação de FiberMesh é para Advanced Metering Infrastructure (AMI), especialmente no backhaul (entre concentrador e escritório central). Atualmente a frequência de coleta de informações de medição é muito pequena, de acordo com o que as empresas de energia estão utilizando para projetos AMR (Auto Metering Reading), neste caso é suficiente para coletar informações de AMR uma vez por semana ou mais. Neste caso, é suficiente usar GPRS ou RF-Mesh para seu backhaul, pois o tráfego de informações de dados é muito pequeno. No entanto, o mecanismo de medição inteligente, no futuro, irá tornar-se cada vez mais complexo, por exemplo com a introdução de energia renovável como painéis solares e assim por diante, a demanda de pico de energia, taxa de energia variadas de acordo com o horário, e assim por diante. Desse modo a frequência de aquisição de informações tende a aumentar até praticamente o "tempo real". Por exemplo, em geral, medidores inteligentes transmitem apenas dados importantes (algo em torno de 150bytes), se a empresa de energia precisa coletar informações de 800 mil casas, levaria 16 minutos. Esse cálculo não considera qualquer falha de comunicação, ou seja, 100% de sucesso para transmitir dados através da rede 1Mbps. Na prática a comunicação falha várias vezes e os dados precisam ser retransmitidos. O mesmo exemplo no entanto, leva cerca de 10 segundos, se realizado em uma rede confiável de 100Mbps. O atual desenvolvimento da rede FiberMesh conta com interfaces de 100Mbps, sendo possível criar redes não apenas mais rápidas, mas também muito mais confiáveis. Apesar disso, nós estimamos que no futuro, até mesmo redes de 100Mbps podem não ser suficientes.

3.0 - CONCLUSÃO

A capacidade da fibra ótica é várias milhares de vezes maior do que o fio de cobre, além disso uma seção transversal de uma fibra tem apenas 125µm. O peso da fibra ótica é menor do que 1/10 do cobre e os dados podem ser enviados aproximadamente 100km de distância sem qualquer repetidor. Redes criadas com fibras óticas além de sua segurança intrínseca são mais estáveis e são imunes à interferência eletromagnética não sendo afetadas, e não afetando, outros sistemas de comunicação. A real capacidade da fibra ótica está milhões de vezes aquém do uso atual. A fibra ótica é como um ativo da empresa e será um grande diferencial se as empresas de energia elétrica possuírem suas próprias redes de fibra, pois isso será uma necessidade do Smart Grid no futuro.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos membros do grupo de P&D de banda larga da Furukawa Electric Corporation pelo seu suporte e empenho no desenvolvimento colaborativo do FiberMesh, aos colegas de outros departamentos que de alguma forma influenciaram e participaram deste processo e em especial aos profissionais de diversas empresas do setor elétrico que direta ou indiretamente colaboraram para o desenvolvimento deste novo conceito de rede de comunicação.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Japan International Cooperation Agency, "Study On Collection Of Basic Information Concerning Smart Grid/Smart Community Introduction In The Federative Republic Of Brazil", cap. 2, pág.15-16, 2012. Japão.
- [2] U.S. Department of Energy, [online] Disponível em: www.ee.energy.gov. EUA.
- [3] VERIZON, "There is No SMART in Smart Grid without Secure Comms", [online] Disponível em: www.verizonenterprise.com. EUA.
- [4] Y. Yan, Y.Qian, H. Sharif and D. Tipper, "A survey on smart grid communication infrastructures: motivations, requirements and challenges", Communications Surveys & Tutorials, IEEE, no.99, pág.1-16, 2012. EUA.
- [5] Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica, 3. ed., cap. 1, pág. 22-24, 2008. Brasil

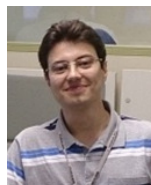
5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Gilson Roberto Stremel, Ponta Grossa – PR, 1967, graduado em Engenharia Elétrica, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em 1994. Ingressou na Furukawa Industrial S.A em 1991 e atualmente trabalha no centro de desenvolvimento de banda larga (CDB) como consultor técnico.



Takumi Matsumoto, Saitama Prefecture - Japan, 1974, graduado em Física pela Tokyo University of Science, em 1997. Ingressou na Furukawa Industrial S.A em 2011 e atualmente trabalha no centro de desenvolvimento de banda larga (CDB) como gerente do departamento.



Wagner Caldas Bressam, Curitiba – PR, 1988, graduado em Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em 2010. Ingressou na Furukawa Industrial S.A em 2011 e atualmente trabalha no centro de desenvolvimento de banda larga (CDB) como gerente de desenvolvimento de *hardware*.



Daniel Alexandre Oleinik, Curitiba – PR, 1988, graduado em Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em 2010. Ingressou na Furukawa Industrial S.A em 2013 e atualmente trabalha no centro de desenvolvimento de banda larga (CDB) como gerente de desenvolvimento de *software*.