



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

FI/GTL/05  
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**

**ANÁLISE DE SOLUÇÕES EM TELECOMUNICAÇÕES PARA HAN, LAN E WAN DE REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES – SMART GRIDS**

**Gabriela M. Camargo (\*)**

**José F. Adami**

**Lucas de P. S. Petri**

**UNESP – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho**

**RESUMO**

A maior parte das concessionárias têm dado passos rumo à implantação de Redes Elétricas Inteligentes, buscando serviço de qualidade com eficiência máxima para o sistema de distribuição de energia elétrica, mas observa-se ainda uma deficiência no setor de Telecomunicações nacional, o que pode dificultar este processo. Este Informe Técnico trata de analisar as soluções já existentes no mercado brasileiro, ou que por ventura possam ser consolidadas em um futuro próximo, de modo a realizar uma prospecção das técnicas que mais se adequem a HAN, LAN e WAN do sistema a ser implantado, observando os aspectos técnicos e financeiros.

**PALAVRAS-CHAVE**

Smart Grid, Telecomunicações, Interoperabilidade, Segurança e Custo de Implantação.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Os benefícios advindos da implantação de uma Smart Grid são amplos e largamente difundidos no meio da Indústria Energética: melhoria na qualidade do serviço prestado pelas concessionárias, maior poder decisão para o consumidor sobre seu consumo, consolidação dos veículos elétricos e da geração distribuída, diminuição das perdas por fraude e das perdas técnicas, além de postergar um investimento entre 7,55 e 34,85 bilhões de reais entre distribuição, transmissão e geração, segundo estudo idealizado pelo IABRADEE (Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica) e a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) presente no livro *"Redes Elétricas Inteligentes no Brasil: Análise de custos e benefícios de um plano nacional de implantação"*. A palavra de ordem para que possamos atingir o conceito de uma Rede Inteligente é interoperabilidade: corte e religa remotos, *self-healing* da rede, medição reversa, análise de consumo em tempo real pelo consumidor, aviso de interrupção no fornecimento por parte do medidor e outras funcionalidades requerem uma rede de comunicação de qualidade, com ativos de boa procedência, de modo a evitar investimentos precoces em manutenção.

Para estabelecer a interoperabilidade do sistema, se necessita atentar para as peculiaridades das três camadas de telecomunicações: HAN (*Home Area Network*), LAN (*Local Area Network*) e WAN (*Wide Area Network*). Para tanto, os seguintes termos devem estar claros: latência e distância entre nós.

Latência representa o intervalo de tempo entre um estímulo e uma reação a este estímulo. Em termos de comunicação, trata-se do tempo de tráfego de um pacote de dados de um ponto a outro, também denominado *"lag"*. Dessa forma, processos que demandam elevadas taxas de transmissão, respostas mais imediatas a acontecimentos, necessitam de baixa latência. Este fato se torna muito importante, conforme será apresentado adiante, para a escolha da Fibra Ótica.

(\*)Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

A distância entre nós se trata do “caminho” a ser percorrido pelos pacotes de dados. Em regiões remotas, a distância é maior o que, conforme também será abordado a seguir, contribui para a escolha de tecnologias de segunda geração.

Procede-se, portanto, ao tratamento de cada camada e as tecnologias disponíveis.

## 2.0 - HAN

A camada HAN cobre o trânsito de informações no interior de uma residência, uma infraestrutura caseira de comunicação e informação que permita a gestão inteligente de todos os dispositivos digitais de uma residência típica. Uma rede HAN pode conter diversas tecnologias de comunicação, relacionadas aos subsistemas incluídos no sistema da residência, no intuito de realizar a comunicação entre aparelhos, medidor, microgerador ou veículo *Plug in* e display eletrônico de consumo de energia. Busca-se alçar uma resposta em tempo real do consumidor para a relação consumo/precificação.

Pela comodidade e a baixa potência de operação, o que torna o processo menos oneroso, soluções *wireless* podem ser utilizadas no interior da residência. Para agregar microgeradores eólicos ou painéis solares, ou veículo *Plug in* servindo como geração *in loco* V2G – *Vehicle to Grid* (o que diminui perdas técnicas nas linhas, pois a geração se encontra próxima aos centros de consumo, além de desafogar as geradoras das concessionárias em horários de pico) a técnica de comunicação deve, obviamente, ser cabeada.

As soluções a serem apresentadas são: ZigBee com o protocolo IEEE 802.15.4, com 6LoWPAN (*IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks*); Bluetooth, e a solução cabeada PLC (*Power Line Communication*).

### 2.1. ZigBee com o protocolo IEEE 802.15.4

ZigBee trata-se de um padrão sem fio resultante das instituições ZigBee Alliance e IEEE. O protocolo 802.15.4 é responsável por implementar as camadas mais baixas do padrão: MAC (*Medium Access Control*), encarregada pelo controle de acesso ao meio (encapsulamento dos dados, endereçamento e detecção de erro), e PHY (*Physical Layer*), responsável pela codificação e decodificação dos sinais, além de conter elementos que garantem a redundância (identificação da procedência de um dado nó e auxílio na detecção de erros), sincronização da transmissão e definição do tipo de topologia da rede. A ZigBee Alliance suporta as camadas superiores: Suporte a aplicação, que comporta API (*Interface de Programação de Aplicações*) e UDP (*User Datagram Protocol*) – permite que a aplicação desenvolva um datagrama em IPv4 ou IPv6 e o envie, e a camada Rede (NWK)/Segurança (SSP), que realiza o controle de uso de baterias.

As características mais importantes do padrão são a baixa potência (pequeno consumo de energia), taxa de transmissão lenta, dispositivos reduzidos, diferentes frequências de operação e taxas de dados (868 MHz e 20kbps; 915 MHz e 40kbps; 2.4 GHz e 250 kbps) e curto alcance, o que se adequa ao âmbito da camada caseira (reduzida distância entre nós). É uma solução relativamente simples, para aplicações menos complexas, de forma que se apresenta como um padrão barato em termos de aquisição e manutenção.

Operando na faixa de radiofrequência eletromagnética ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), não requer licença, o que demanda mecanismos de proteção contra interferência (já que a banda ISM comporta tecnologias como Wi-Fi, Bluetooth, forno de micro-ondas e transmissores de ondas curtas, de fins fisioterápicos). Duas técnicas são utilizadas no intuito de não permitir que vários nós passem a transmitir ao mesmo tempo: CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance*), que determina que um dispositivo deve esperar escutando até “encontrar” um canal livre para transmitir, e GTS (*Guaranteed Time Slot*), que “aloca” um determinado espaço de tempo para que o dispositivo realize sua função, sem atrasos. Contra o ruído desta banda, ZigBee se utiliza da tecnologia DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), que conta com o método da Sequência de Barker para espalhar o sinal de rádio, gerando um código de chip que será interpretado pelos receptores que o conheçam.

Quanto à segurança, a camada MAC protege os frames transmitidos em um único salto com o algoritmo de criptografia AES (*Advanced Encryption Standard*), porém as camadas superiores coordenam o processo: quando a camada MAC lida com um frame, verifica o destino, recupera a chave (com tamanho de 128, 192 ou 256 bits) associada a esse destino e a utiliza para processar o frame de acordo com a rotina padrão.

Os componentes integrantes da rede são o coordenador, os roteadores e os “*end devices*”. O Coordenador inicia a rede definindo o canal de comunicação usado, gerencia os nós da rede e armazena informações sobre eles. Os roteadores são responsáveis pelo encaminhamento das mensagens entre os nós da rede. Já um “*end device*” pode ser um dispositivo bem mais simples, só se comunicando com outro nó da rede.

Uma das topologias mais utilizadas para automação residencial e controle remoto de produtos eletrônicos é a Mesh (malha): permite que a rede se ajuste automaticamente na inicialização, entrada de novos dispositivos ou perda de dispositivos, mais tolerante a falhas que topologias como a estrela.

No protótipo brasileiro de Smart Grid InovCity Aparecida, pela edp (Energias de Portugal) e ECIL, observa-se a instalação de uma rede Mesh ZigBee: na camada HAN, o consumidor recebeu em sua residência um Home display (display de monitoramento do consumo de energia elétrica) e um Smart TUG, ligado ao home display também por ZigBee – RF, que permite ao consumidor comandar remotamente seus eletrodomésticos, bem como acompanhar o consumo individual dos eletrodomésticos, sendo um medidor tipo shunt. Estes dados estão

presentes no informe da abineeTEC 2012, “*InovCity Aparecida: Implementando um projeto de redes inteligentes na EDP Brasil*”.

## 2.2. 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks) e IPv6 (Internet Protocol version

6)

Como seu próprio nome diz, 6LoWPAN trata de aplicar o protocolo IPv6 à redes de baixa potência, o que se mostra uma boa alternativa ao IEEE 802.15.4 para ZigBee e, apesar de por vezes ser considerado demasiado complexo para a aplicação, acarreta uma série de vantagens: o modelo de conexão fica simplificado, eliminando-se a necessidade de gateways complexos; ferramentas já existentes para comissionamento, configuração, gerenciamento e tratamento de problemas nas redes IP podem ser utilizadas. Outros protocolos que funcionam sobre IP, TCP ou UDP podem ser aproveitados. Protocolos proprietários usados em produtos de automação e controle que foram adaptados para funcionar sobre o IP podem ser usados. A natureza aberta da especificação do IP favorece um melhor entendimento da tecnologia e, geralmente, gera menos problemas relativos aos direitos de uso da mesma.

Mais especificamente quanto ao IPv6, devido ao formato de 128 bits, em detrimento dos 32 de IPv4; destaca-se o elevado número de endereços possíveis, que acomodariam tranquilamente os elementos das residências e das cidades a receberem inteligência e conectarem-se a uma Smart Grid, além dos usuários, empresas e redes locais.

Quanto à segurança, o protocolo IPv6 conta com IPsec (*IP Security Protocol*) para garantir a comunicação criptografada entre os *hosts*. Trata-se de um pacote de tecnologias que assegura a comunicação ponto a ponto, através da troca de chaves de Diffie-Hellman. Dessa forma, dispositivos com IPsec habilitados não se comunicam com outros que não possuam IPsec. Por fim, o IPsec utiliza dois protocolos: *Authentication Header*, que adiciona um cabeçalho de autenticação para que os dois *hosts* “se conheçam”, ou autenticuem-se, além de verificar a totalidade dos dados; e ESP (*Encapsulating Security Payload*), que utiliza-se de 3 algoritmos diferentes para se certificar de que os datagramas são mesmo confidenciais.

O processo de tunelamento, por fim, encapsula os datagramas IPv6 em IPv4, o que torna possível pacotes IPv6 utilizarem a rede IPv4 pré-existente. Em se tratando de IoT (*Internet of Things*), 6LoWPAN já é consagrada uma técnica muito promissora para a “inserção de inteligência” em todos os setores do cotidiano humano, o que mostra a técnica também muito vantajosa para uma Smart Grid, apesar da adoção do protocolo IPv6 ainda se mostrar meio tímida e a substituição do IPv4 ser paulatina, apesar de muito necessária (esgotamento dos endereçamentos disponíveis).

## 2.3. PLC

Apesar de as redes sem fio se apresentarem como a evolução das redes de comunicação, o vínculo entre medidor eletrônico e microgerador, ou para inserção do veículo Plug in, como descrito no início do Informe Técnico, o padrão de comunicação a ser utilizado deve ser uma solução cabeada. A solução PLC é a mais utilizada, podendo substituir o ZigBee também em outros processos de comunicação nas residências.

A tecnologia PLC transforma uma rede de distribuição elétrica em uma rede de comunicação pela superposição de um sinal de informação de baixa energia ao sinal de corrente alternada de alta potência. A faixa de frequência utilizada para comunicação é de 3 kHz a 500 kHz, para faixa estreita (1 a 3 Mbps), e de 1,6 a 50 MHz para aplicações Banda Larga, também conhecida por BPL (*Broadband PowerLine*) e aplicada para prover internet na última milha, com taxas de até 200 Mbps. Como a ordem de frequência do sinal modulado é muito maior que a do sinal elétrico (50 – 60 Hz), ambos podem coexistir no mesmo canal sem que haja perda de informações ou riscos para os aparelhos. O grande atrativo da técnica é a dispensa de infraestrutura própria para uma rede, apenas requer a aquisição de equipamentos como Modems (comunicação entre aparelhos e rede elétrica), Repetidores e a Caixa de Distribuição.

Com um alcance de 1 a 3 km, a solução PLC faixa estreita pode ser muito utilizada também em detecção de fraudes e comunicação de dados entre os medidores inteligentes e o concentrador de dados, por estar diretamente anexada à rede elétrica.

Um dos problemas associados a esta solução é o ruído na rede: ao se conectar um adaptador PLC em uma tomada de uma residência, todas as outras se transformam em um ponto de acesso, embora cada ponto não possa receber dados simultaneamente; causando interferências graves com outros eletrônicos que utilizem a frequência de rádio, como telefones sem fio e televisores. Dessa forma, filtros devem ser incluídos no projeto (isoladores de ruído), de modo a manter os índices de radiação abaixo dos limites impostos pela Resolução 527/2009 da ANATEL. A técnica sofre também os efeitos de ruído externo, em instalações que possuam *dimmers*, motores de escova, fontes chaveadas de computadores ou *no-breaks* ou motores de alta frequência, como aspiradores. Por fim, a taxa de dados pode ser muito reduzida em regiões de intensa utilização (estruturada de modo paralelo).

PLC conta com criptografia DES (*Data Encryption Standart*) de 56 bits, em um processo que gera 16 subchaves (escalonamento de chaves) pela função Feistel. A redundância é garantida pelo algoritmo FEC (*Forward Error Correction*), para possíveis erros de transmissão. A rede não é visível.

## 2.4. Bluetooth

Trata-se de uma tecnologia de informação que também dispensa cabos, o Bluetooth trabalha no espectro de 2,4 a 2,4835 MHz, com banda de até 721 kbps. Seu alcance é de 1 a 100 metros e representa um dos maiores desafios em sua utilização, além do alto consumo de energia, em se tratando de uma solução de baixa potência. Também é um padrão que se utiliza da ISM, portanto dispensa recursos para sua utilização. A comunicação entre dispositivos depende de microchips transmissores de baixo custo instalados nos equipamentos.

O Bluetooth tem em sua pilha de protocolos: Protocolos Núcleo, como Bluetooth Radio – uso de RF, *Baseband*, *Link* – organização das piconet, *Link Manager Protocol* (LMP) – parâmetros de autenticação e criptografia, *Logical Link Control and Adaptation Protocol* (L2CAP) – interrelação entre camadas superiores e de base e *Service Discovery Protocol* (SDP) – trata das informações dos dispositivos; o Protocolo de Substituição de cabo *Radio frequency communications* (RFCOMM), o Protocolo de Controle de Telefonia *Telephony control protocol-binary* (TCS BIN) e Protocolos Adaptados, não nativos do Bluetooth, como *Point-to-Point Protocol* (PPP) – suporte para datagramas IP, TCP/IP/UDP já citados, *Object Exchange Protocol* (OBEX) – intercâmbio de objetos e *Wireless Application Environment / Wireless Application Protocol* (WAE/WAP) – acesso à telefonia para usuários “mobile”.

Uma rede Bluetooth (piconet) pode conter até 8 dispositivos, sendo 1 *master* (que iniciou a conexão) e o restante *slave*, de forma que um *slave* pode fazer parte de mais de uma piconet, gerando uma rede expandida denominada scatternet. Um *master* pode ocupar esta posição em apenas uma piconet.

A modulação FHSS permite que seja muito difícil dois dispositivos utilizarem a mesma frequência, promovendo mudanças entre 79 canais durante 1 segundo, permutando 1600 vezes. Existem níveis de segurança no protocolo: Autenticação, Modo Inseguro, Serviço *Level Security* e *Link Level Security*. Quando a comunicação é exigida, uma chave de 128 bits é solicitada e a informação somente é liberada após a confirmação do PIN (*Personal Identification Number*) do chip.

### 3.0 - LAN

A camada LAN, por vezes também denominada RAN (*Regional Area Network*) ou FAN (*Field Area Network*), abrange, em termos de Smart Grid, o tráfego de informações entre os concentradores da região e o *backhaul*. Esta camada é altamente dependente da localidade, que pode apresentar pequenas distâncias entre nós, em centros urbanos, ou largas distâncias em localidades rurais, que abrangem cada vez mais clientes exigentes pela modernização da produção, tornando o investimento nessas regiões muito necessário, também.

Quanto mais concentra-se a informação a ser transmitida, mais densos os pacotes de dados se tornam. Dessa forma, é óbvio que a camada LAN exige uma técnica com taxas mais elevadas de transmissão. As soluções de interesse são: Wi-Fi (IEEE 802.11) e GPRS (*General Packet Radio Service*)/GSM (*Global System for Mobile Communications*).

#### 3.1. Wi-Fi (IEEE 802.11)

Wi-Fi é um conjunto de especificações da Wi-Fi Alliance para redes locais sem fio (WLAN - *Wireless Local Area Network*) baseada no padrão IEEE 802.11, opera no espectro de 2,4 GHz a 5,8 GHz, seu alcance é de 1 a 300 metros, com taxa de transmissão de até 288,9 Mbps. Trata-se de uma rede muito versátil e muito difundida, apesar de seu alcance reduzido.

Existem diversas especificações do protocolo 802.11, cada uma agregando características desejáveis. O padrão original “*legacy*”, de 1997, opera em faixa ISM, 1 Mb/s ou 2 Mb/s, e utiliza as técnicas DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) e FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), permitindo transmissões por vários canais dentro de uma frequência e tornando a transmissão menos vulnerável à interferência. A versão 802.11b, 1 Mb/s, 2 Mb/s, 5,5 Mb/s e 11 Mb/s, abandona o FHSS e se utiliza de CCK (*Complementary Code Keying*) e também opera em 2,4 GHz. O padrão 802.11a opera em faixa de 5 GHz (menos interferência, mas a compatibilidade entre dispositivos com as outras versões é comprometida), 6 Mb/s, 9 Mb/s, 12 Mb/s, 18 Mb/s, 24 Mb/s, 36 Mb/s, 48 Mb/s e 54 Mb/s, faz uso apenas de OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), que fragmenta os pacotes de dados e os transmite em frequências diversificadas. Posteriormente, a versão 802.11g trazia as mesmas especificações que 802.11a, operando na faixa de 2,4 GHz. 802.11n utiliza a técnica MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) podendo, teoricamente, atingir taxas de até 600 Mb/s. Opera tanto em 2,4 GHz como 5 GHz.

A tecnologia 5G, padrão 802.11ac, deve se estabelecer ainda em 2015, prometendo taxas de 6 Gb/s e operando na faixa de 5 GHz, mas como é um padrão ainda não consumado, deixa-se aqui apenas à título de curiosidade. A técnica de modulação é MU-MIMO (*Multi-User MIMO*).

Algumas cidades nos Estados Unidos da América utilizam redes Wi-Fi pré-instaladas para fazer a conexão entre os coletores e o *backhaul* da *utility* em áreas urbanas mais densas. A grande dificuldade em sua utilização é justamente o “curto alcance”, em se tratando de LAN.

#### 3.2. GPRS/GSM

São tecnologias de telefonia móvel (rádio) que, integradas, se situam na geração 2.5G. Representam uma opção para a comunicação entre os medidores inteligentes e a *utility* e entre nós mais distantes. Operam no espectro de 900 a 1800 MHz, a uma taxa de até 170 kbps e com alcance de 1 a 10 km. Um dos maiores empecilhos em sua

utilização é a baixa taxa de envio de dados, mas o longo alcance torna a tecnologia muito importante para regiões rurais, com distâncias amplas entre concentradores.

GPRS é integrado ao padrão GSM, que se trata de um padrão altamente consolidado e disponível em diversas localidades, muito utilizado no rastreamento de frotas. GPRS/GSM se comunica por pacotes comutados, trocando dados por pacote apenas quando solicitado, o que não acontecia quando GSM se utilizava de comutação de circuitos. O padrão suporta IP e se aproveita das bases do protocolo GSM – BSS (*Base Station Subsystem*), adicionando técnicas como GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), que promove a conexão com outras redes; SGSN (*Serving GPRS Support Node*), que realiza o roteamento de pacotes de dados e PCU (*Packet Control Unit*) que, inserido entre o BSS e o GPRS NSS (*Network Subsystem*), suporta a manipulação de pacotes.

A criptografia GSM se dá através GSM A5/1, mais robusto, que utiliza chaves de 114 bits transmitidas a cada 4,615 milissegundos. O GSM A5/2, considerado mais fraco, é utilizado em países fora da Europa e dos Estados Unidos, o criptograma se baseia em uma combinação de 4 funções lineares e 1 não linear.

Como os pacotes de dados de zonas campestres tende a ser mais reduzido, GPRS/GSM pode atender a estas localidades.

#### 4.0 - WAN

O subsistema WAN é responsável por desempenhar a função de *backhaul*, integrar os concentradores ao *backbone* de toda a estrutura de comunicações. Trata-se de pacotes densos, um aglomerado de dados proveniente de cada equipamento de todos os clientes em alta, média e baixa tensão de uma cidade (ou uma região, em caso de municípios pequenos). Além do tamanho extenso, alguns pacotes trazem informações que necessitam ser rapidamente enviadas ao *backbone* e consolidadas nos centros de medição, para que as tomadas de decisão sejam mais rápidas, como é o caso da detecção de falhas e fraudes, de modo a garantir toda a instantaneidade para o processo que é a proposta principal de Smart Grids.

Tendo em vista todos estes detalhes, fica evidente que as tecnologias de quarta geração são mais adequadas para esta camada de comunicação. As técnicas disponíveis a serem exploradas são: WiMAX (Interoperabilidade Global para Acesso por Microondas) e 4G LTE (*Long Term Evolution*).

##### 4.1. WiMAX

Trata-se de um padrão similar ao Wi-Fi, promissora alternativa ao ADSL. Baseado no protocolo 802.16 do IEEE, opera no espectro de 2,5 GHz, 3,5 GHz ou 5,8 GHz (WiMAX fixo) e 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz e 3,5 GHz (WiMAX móvel). Seu grande atrativo é o grande raio de ação, que pode ser de até 50 km, porém há grande redução nas taxas de envio (que prometem alcançar até 1 Gbit/s, porém prospecções mais pessimistas ditam 124 Mbps). O alcance típico é considerado de 6 a 9 km, o que torna a solução muito apropriada para a camada WAN. Outra característica muito atrativa é o menor custo de instalação das antenas, até pelo número reduzido destas. Além disso, a grande largura de banda pode atender diversos clientes simultaneamente e o protocolo pode suportar IP, Ethernet e ATM (*Asynchronous Transfer Mode*).

A camada MAC do protocolo possui 3 subcamadas: CS (*Service-Specific Convergence Sublayer*) – Mapeamento de dados da rede externa e oferece suporte aos protocolos supracitados, CPS (*Common Part Sublayer*) – estabelecimento e manutenção de conexão e Subcamada de Segurança (*Security Sublayer*) – criptografia e autenticação. A camada PHY, além de tratar dos processos mecânicos (transmissão de bits), utiliza 3 esquemas de modulação para atenuar o ruído: QAM-64 (6 bits/ baud), QAM-16 (4 bits/ baud) e QPSK (2 bits/ baud). Por fim, a camada de enlace identifica e trata erros ocorridos na camada PHY, além de reconhecer os endereços.

Por se tratar de uma técnica muito recente (o padrão foi publicado somente em 2002), a segurança do protocolo é muito questionada e espera-se que novas especificações para tal sejam implementadas. A subcamada de segurança utiliza-se de criptografia DES e AES, como a técnica ZigBee já descrita, além de certificados do tipo X.509, cujas chaves são descritas através da RFC 3280, também redigida pela IETF (compartilha uma chave de autenticação entre duas estações e informa o editor do certificado).

O elevado número de dispositivos terminais suportados (com conexões seguras) pode também permitir a comunicação com as equipes móveis de emergência (suporte a mobilidade). Em um projeto a ser instalado na cidade de São Paulo, pela Eletropaulo, a rede WiMAX comandará todos os religadores, comunicando a necessidade de troca de relés da malha elétrica, e será integrada a comunicação *last mile* dos medidores.

##### 4.2. 4G LTE

A tecnologia de quarta geração LTE, criação da 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*), se trata de um padrão móvel, compatível com os recursos disponíveis nas redes HSPA e GSM, já amplamente divulgadas, o que poupa recursos em instalação. Trabalha no espectro de 2,6 GHz, no Brasil, atingindo taxas de 150 Mb/s para usuários em movimento ou 1 Gbps de download para dispositivos parados. Com alcance de 1 a 50 km, e uma latência de 30 milissegundos, no máximo, a maior dificuldade em sua utilização é o alto custo regulatório de espectro.

A rede LTE é considerada relativamente reduzida devido ao sistema eNodeB (*enhanced NodeB*), constando de duas partes: EPC (*Evolved Packet Core*) e E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*). Alguns protocolos realizam o gerenciamento de cada camada e a comunicação entre estas: PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*), que trata da compressão do cabeçalho IP baseado em ROHC (*Robust Header Compression*); RLC (*Radio Link Control*), que realiza a concatenação e transmissão de dados para as camadas superiores. A camada MAC agenda os enlaces de subida e descida e trata os canais lógicos, já a PHY trata da criptografia, modulação e mapeamento de antenas, através do MIMO.

Contando com segurança multinível/multicamada, as soluções 4G para Smart Grids isolam um determinado nó ou dispositivo que tenha sido comprometido, negando seu acesso ao resto da rede, para neutralizar ataques e a falha completa. No momento, alguns municípios no Brasil já contam com cobertura LTE, principalmente pertencente a empresa Sky.

## 5.0 - BACKBONE: FIBRA ÓTICA

O termo *Backbone*, traduzido livremente como espinha dorsal, representa a convergência dos diversos subsistemas de telecomunicações, o que ressalta ainda mais a necessidade de utilização de protocolos abertos. As informações captadas na camada HAN, por fim, são direcionadas aos Centros de Medição das concessionárias, onde serão analisadas.

A fibra ótica é constituída de feixes de filamentos de vidro ou plástico, finos e flexíveis, revestidos de um material isolante. A transmissão de dados é realizada ligando e desligando um foto emissor a uma extremidade do cabo de transmissão de dados digitais, rapidamente. O feixe percorre o cabo através de várias reflexões sucessivas, em um processo denominado reflexão total interna, devido à casca espelhada que recobre o cabo. Mais de um sinal pode ser transportado ao longo de uma mesma fibra, através da utilização de lasers de cores diferentes. As fibras que permitem mais de um sinal de luz em seu interior são chamadas multimodo, enquanto as que são percorridas apenas por um feixe são denominadas monomodo. Bilhões de bits de dados podem ser transmitidos por segundo. Alguns pesquisadores conseguiram enviar cerca de 100 Tb por segundo através da fibra ótica, porém, em termos práticos, uma taxa de até 10 Gbps é comercializável, com baixa atenuação por quilômetro (0,2 dB/km).

Pela robustez, a tecnologia é mais do que suficiente para o objetivo, mas existe uma grande dificuldade em sua utilização: o preço é elevado, devido ao processo complexo de fabricação e instalação. Apesar disso, seu uso é muito difundido: A HUBER+SUHNER fornece produtos em fibra ótica para o monitoramento e medições em usinas elétricas, o que é beneficiado pelo fato de que a fibra é insensível aos efeitos eletromagnéticos; sensores de temperatura de fibra ótica podem monitorar a temperatura no enrolamento de núcleos de transformadores, permitindo dimensionar a carga máxima sem que esta diminua a vida útil do isolamento dos transformadores; a Cemig idealiza projeto de monitoramento em vídeo de chaves seccionadas alimentado por fibra ótica (técnica PoF - *Power over Fiber*), o que novamente é beneficiado pela indiferença da fibra ao campo eletromagnético; o projeto supracitado da Eletropaulo na subseção WiMAX também pretende se utilizar de fibra ótica (FiberMesh) para constituir o *backbone* da rede, além de inúmeras outras aplicações. A Fibra ótica, portanto, é uma tecnologia indispensável para o projeto de uma Smart Grid.

## 6.0 - PROSPECÇÃO DE UM PROJETO DE REDE DE TELECOMUNICAÇÕES PARA UMA SMART GRID

Tendo como base todo o corpo do Informe Técnico apresentado, pesando-se os prós e contras de cada solução e as decisões tomadas por empresas no território brasileiro que possuam projetos de Smart Grid, as seguintes tecnologias foram escolhidas: para HAN, apesar de se tratar de uma escolha pessoal do cliente, PLC é imprescindível. ZigBee com 6LoWPAN para os equipamentos domésticos e Bluetooth para comunicação entre o display e algum computador ou celular. Para LAN, em centros urbanos o Wi-Fi, em localidades rurais, GPRS/GSM. Para WAN, WiMAX se mostra a tecnologia mais vantajosa. Um protótipo poderia se basear no seguinte esquema:

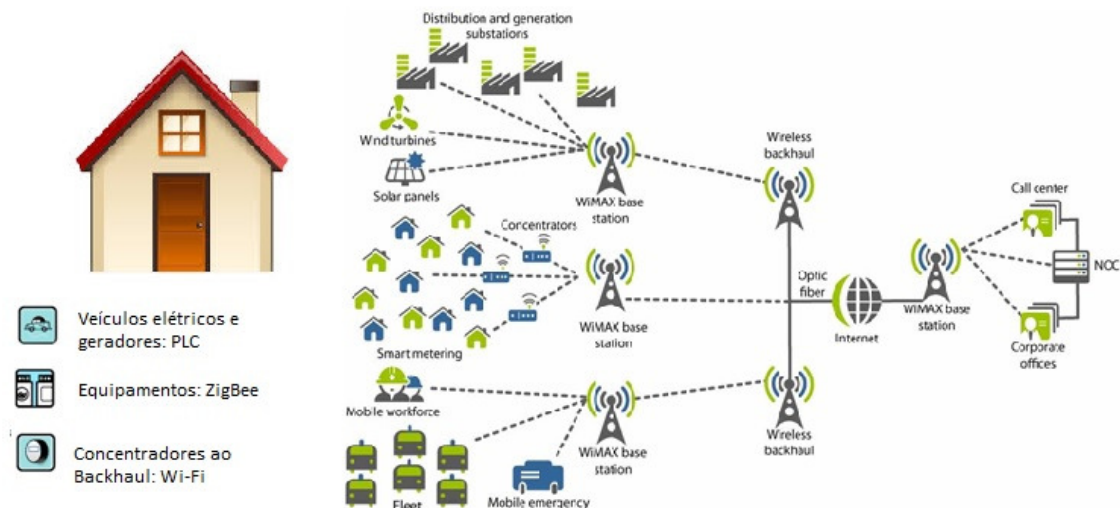


FIGURA 1 - Prospecção dos elementos de uma rede de telecomunicações para Smart Grid

## 7.0 - CONCLUSÃO

Smart Grids tratam-se de uma evolução benéfica e necessária, uma alteração profunda em todos os aspectos de uma rede de distribuição, renovação dos ativos obsoletos. Atualmente, quando fala-se de inserir inteligência a um processo o setor de telecomunicações é sempre um ponto importante.

O padrão ZigBee com 6LoWPAN, além de trazer todos os benefícios de uma rede Mesh ZigBee (baixa potência, redundância, suporte à interoperabilidade), pode inserir as residências no conceito de IoT (Internet das Coisas), trazendo todos os benefícios do protocolo IPV6. PLC se mostra uma solução cabível para a integração de veículos híbridos, inclusive pela característica temporária dessa conexão, permite interromper os processos que gerem interferência durante este período de tempo.

A solução Wi-Fi é adequada para centros urbanos densos, que em geral já possuem uma rede integrada. Para centros rurais, a tecnologia de rádio GPRS/GSM é mais adequada por cobrir maiores distâncias e estar disponível em diversas localidades.

O *backhaul* da rede pode contar com duas tecnologias semelhantes. A escolha por WiMAX se dá pelo preço reduzido de instalação e o menor custo regulatório do espectro, em detrimento do 4G LTE. A técnica apresenta um raio de ação adequada e taxas mais elevadas de transmissão.

Por fim, para o *backbone* da rede, a fibra óptica é uma solução robusta e adequada, apesar de seu alto custo, é a única solução mais cabível para que os pacotes de dados coletados nos medidores na camada HAN, repassados pelos concentradores da camada LAN para o *backhaul* da camada WAN possam ser consolidados nos centros de medição, onde serão analisados e as tomadas de decisão realizadas, de modo a acelerar os processos e manobras, garantir a interoperabilidade e o fornecimento contínuo de energia elétrica.

## 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) KAGAN, N. et al. Redes Elétricas Inteligentes no Brasil: Análise de custos e benefícios de um plano nacional de implantação. Rio de Janeiro: Synergia : iABRADEE; Brasília: ANEEL, 2013. 300 p.
- (2) DUTRA, J. C. et al. Redes Elétricas Inteligentes no Brasil: Subsídios para um plano nacional de implantação. Rio de Janeiro: Synergia, 2013. 320 p.
- (3) Relatório do Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes do Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/acoes/Energia/Relatxrio\\_GT\\_Smart\\_Grid\\_Portaria\\_440-2010.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/acoes/Energia/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf)>. Acesso em fevereiro de 2015.
- (4) edp, ECIL Energia, Abinee. InovCity Aparecida: Implementando um projeto de Redes Inteligentes na EDP Brasil. Disponível em: <<http://www.tec.abinee.org.br/2012/arquivos/s2g.pdf>>. Acesso em fevereiro de 2015.
- (5) GASCÓN, D. 802.15.4 vs ZigBee. Disponível em: <<http://sensor-networks.org/index.php?page=0823123150>>. Acesso em fevereiro de 2015.
- (6) IETF (Internet Engineering Task Force). Requests for Comments (RFCs). Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc.html>>. Acesso em fevereiro de 2015.

- (7) LIMA, M. X. de. Redes PLC. Disponível em: <[http://www.projotoderedes.com.br/tutoriais/tutorial\\_redes\\_plc\\_01.php](http://www.projotoderedes.com.br/tutoriais/tutorial_redes_plc_01.php)>. Acesso em fevereiro de 2015.
- (8) ALECRIM, E. Tecnologia Bluetooth: o que é e como funciona?. Disponível em: <<http://www.infowester.com/bluetooth.php>>. Acesso em fevereiro de 2015.
- (9) ALECRIM, E. O que é Wi-Fi (IEEE 802.11)?. Disponível em: <<http://www.infowester.com/wifi.php>>. Acesso em fevereiro de 2015.
- (10) TELECO. Recurso Rádio em GSM/GPRS: GPRS. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgprsalloc/pagina\\_3.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgprsalloc/pagina_3.asp)>. Acesso em fevereiro de 2015.
- (11) IETF (Internet Engineering Task Force). Requests for Comments (RFCs). Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/rfc3280>>. Acesso em fevereiro de 2015.
- (10) Redes inteligentes: eficiência graças à fibra óptica. Disponível em: <<http://www.hubersuhner.com/pt-BR/Company/Connected-Stories/Smart-grids-Efficiency-through-fiber-optics>>. Acesso em fevereiro de 2015.

## 9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Gabriela Maia Camargo, nascida em Caraguatatuba, SP, em 19 de janeiro de 1995. cursando o terceiro ano de Engenharia Elétrica na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP (2013-17). Bolsista PIBITI – FUNTEL (Fundo para o Desenvolvimento Tecnológico de Telecomunicações) de Janeiro de 2015 a Julho de 2015.



José Feliciano Adami, nascido em Itajubá, MG em 15 de agosto de 1956. Engenheiro Eletricista pelo Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL (1978). Mestre em Ciências – Sistema de Potência pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI (2001). Doutor em Engenharia pela UNIFEI (2008). Pós-doutorado pela UNIFEI (2012). Professor Adjunto da Universidade Estadual Paulista - UNESP – Guaratinguetá desde 2004 no curso de Engenharia Elétrica. Pesquisador no grupo de pesquisa Modelagem de Sistemas e Processos Térmicos e Hidráulicos, do(a) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Trabalhou na Siemens S/A na área telecomunicações de 1979 a 1999. Áreas de interesse: proteção de sistemas elétricos, qualidade da energia, energias renováveis e Telecomunicações.



Lucas de Paula Santos Petri, nascido em Guaratinguetá, SP, em 27 de fevereiro de 1993. Técnico em Eletrônica pelo Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá - UNESP (2010). Estágio técnico de 1020 horas na Rede Aparecida de Comunicação (2011-12). Celetista técnico em Eletrônica na Rede Aparecida de Comunicação (2012-13). cursando o terceiro ano de Engenharia Elétrica na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP (2013-17), bolsista FAPESP de Setembro de 2014 a Agosto de 2015.