

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

ROADMAP DAS REDES DE TELECOMUNICAÇÃO PARA SMART GRIDS

**CARLOS ALEXANDRE MEIRELES DO NASCIMENTO(1); DANIEL SENNA GUIMARÃES(1); AGNALDO CESAR BONINI(1); BRUNO NOGUEIRA AIRES(2); EDUARDO FERREIRA DA COSTA(2); LEONARDO HENRIQUE DE MELO LEITE(3)
CEMIG(1); CPQD(2); FITEC (3)**

RESUMO

As redes de telecomunicações acompanham processos de transformação e modernização, migrando para sistemas digitais mais eficientes e inteligentes. Estão aderentes aos conceitos preconizados pelas smartgrids por redes de telecomunicações que suportam a operação em tempo real de instalações de energia elétrica ramificadas, interconectadas e dependentes entre si, e geralmente por meio de redes físicas de bordas definidas. O objetivo deste trabalho é apresentar um roadmap das redes de telecomunicações para smart grids fazendo uma retrospectiva tecnológica dos últimos 15 anos e apontando as principais tendências na estruturação e na expansão requeridas para as redes smartgrids do setor de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE

SmartGrid; Redes Inteligentes; Redes Ópticas; Redes Sinérgicas; Redes de Distribuição.

1 INTRODUÇÃO

O uso em larga escala das redes de comunicação digitais se alastra em velocidade acelerada pela sociedade moderna, e em particular no setor de energia elétrica, as redes de telecomunicações utilizadas nos processos operativos seguem essa mesma tendência. Opções tecnológicas têm sido largamente testadas para possibilitar ao setor de energia elétrica a eficiência, a confiabilidade e a segurança operacional demandada em suas operações críticas, e também a sua grande penetração geográfica e capilaridade dos pontos de automação. Vetores de desenvolvimento, econômico e socioambiental, apontam um novo modelo de transformação do sistema elétrico por meio da descarbonização da matriz energética, da digitalização dos ativos GTD e GD até o usuário final, e da descentralização da gestão. Nesse contexto, as redes de telecomunicações acompanham processo de transformação e modernização, migrando para sistemas digitais cada vez mais eficientes e inteligentes, aderentes aos conceitos preconizados pelas smartgrids. Sistemas operados em redes de telecomunicação que suportam a operação em tempo real de instalações de energia elétrica estão cada vez mais ramificados, interconectados e dependentes entre si, geralmente por meio de redes físicas de bordas definidas. Alguns desafios podem ser explicitados: *i*) a universalização da eletrificação nas áreas urbanas e rurais; *ii*) a digitalização do setor de energia elétrica; *iii*) a descentralização da geração de energia elétrica por recursos energéticos distribuídos para acelerar a descarbonização e reduzir a dependência da matriz energética por combustíveis fósseis; *iv*) a descentralização da gestão e tomada de decisões por meio dos sistemas tecnológicos e digitais em redes para levar mais agilidade, segurança e compartilhar o poder das decisões e *vi*) prover maior robustez, confiabilidade e redução no tempo de recomposição após falhas no sistema elétrico de potência. Nesse contexto, desafiador e motivador, uma área muito desafiada é a engenharia de redes de telecomunicações junto ao setor de energia elétrica. Movimentos tecnológicos como o recém surgimento da economia digital e compartilhada, que basicamente emergiu no fenômeno disruptivo da Uber, por meio do setor de transporte e o recém-licitados lotes do 5G no Brasil, irão transformar a engenharia de telecomunicações para novos paradigmas.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar um roadmap das redes de telecomunicação para smart grids fazendo uma retrospectiva tecnológica dos últimos 15 anos e apontar algumas tendências. O artigo está dividido em: *i*) apresentação das principais tecnologias e padrões de comunicação para as utilities de energia (PAN, LAN, MAN e WAN); *ii*) abordagem das principais tecnologias de redes de telecomunicações wireless; *iii*) redes cabeadas passando pelo uso dos cabos OPGW e pelo conceito das Linhas e Redes Sinérgicas utilizando a nova topologia de fibras óticas junto aos cabos e condutores fase e neutro; *iv*) como as redes híbridas podem ser integradas, e ao mesmo tempo

complementares entre si, no monitoramento, na estruturação e na expansão requeridas para as redes smartgrids do setor de energia elétrica.

3 TECNOLOGIAS E PADRÕES DE COMUNICAÇÃO PARA UTILITIES DE ENERGIA

Os provedores de serviços de energia, sejam eles de geração, transmissão ou distribuição utilizam, historicamente, redes de comunicação para suporte à realização de diferentes serviços: redes proprietárias para comunicação de dados operacionais de controle e automação entre os dispositivos de campo e os centros de operação; redes proprietárias para comunicação entre os sites da corporação, redes públicas (ex. redes de telefonia fixa, celular e internet) utilizadas em processos operacionais não críticos como por exemplo backbone de dados para serviços corporativos. No entanto, a concepção das redes inteligentes de energia e as novas funções avançadas por elas preconizadas demandam uma infraestrutura de comunicação mais abrangente, mais veloz, mais flexível, mais capilar mais confiável e com segurança cibernética embarcada. Projetos internacionais apontam para convergência das redes (1) e (2).

As funções críticas de supervisão e controle passam a ter acesso a inúmeros dispositivos e sensores distribuídos na infraestrutura de energia, a partir de redes de comunicação de dados dedicadas ou compartilhadas. A comunicação entre os agentes de mercado e os provedores de serviços terceirizados podem fazer uso da rede internet para comunicação com os sistemas empresariais das empresas de energia. O consumidor, que até então exercia um papel pouco ativo, apenas consumindo o serviço de eletricidade, passa a ser um agente participante do sistema. Novas funcionalidades, dentre outras a geração distribuída, automação residencial, veículos elétricos, medição remota, gerenciamento pelo lado da demanda demandam novas interfaces de comunicação direta com o consumidor, possibilitando que este, em determinado grau, interaja diretamente com o seu provedor de energia elétrica.

A escolha da melhor tecnologia de comunicação aplicada à infraestrutura de energia elétrica depende dos requisitos de comunicação, como por exemplo: taxa de dados, latência, alcance, disponibilidade, qualidade de serviço e segurança, e da área geográfica de interesse. Diferentes funções do sistema elétrico apresentarão requisitos diferentes, alguns mais restritivos e outros mais flexíveis. Os ambientes de aplicação de utilities de energia podem ser classificados sinteticamente como apresentado no relatório de requisitos de comunicação para smart grid do Department of Energy dos Estados Unidos (3), e listado a seguir:

- Medição avançada (AMI, da sigla em inglês Advanced Metering Infrastructure);
- Gerenciamento pelo lado da demanda (GLD);
- Geração distribuída (GD) e armazenamento (storage);
- Veículos Elétricos (EV, da sigla em inglês Electric Vehicles);
- Automação da distribuição (DA, da sigla em inglês Distribution Automation):
 - Automação de Subestações de Energia;
 - Automação de Rede de energia;
 - Automação da comunicação com Equipes de Campo.

A TABELA 1 apresenta as principais tecnologias e padrões de comunicação, com e sem fio, propostos para os respectivos segmentos de rede aplicados à infraestrutura de energia.

TABELA 1 Tecnologias/Padrões de Rede de Comunicação para Utilities

Segmento de Rede	Sem Fio (<i>Wireless</i>)	Com Fio (<i>Wireline</i>)
WAN	Wimax 802.16d/e; Radio Troncalizado; Satélite; SMP 3G; SMP LTE e 5G	Fibra Óptica / DWDM; IP MPLS; SDH; Metro Ethernet
Backhaul	Wimax 802.16d/eSMP 3G; SMP LTE; SMP GPRS; RF Mesh; RF (ponto a ponto) e 5G	Fibra Óptica (EPON/GPON); Metro Ethernet; xDSL e HFC
Last Mile	Wimax 802.16d/e; SMP (GPRS, 3G, LTE); RF Mesh; RF Mesh 802.15.g; RF (ponto a ponto); 802.11 n/g / Wi-Fi; 802.2.15.4 / Zigbee e 5G	PLC <i>Outdoor</i> ; BPL; ADSL; HFC - DOCSIS
Customer Premisse	802.11 n/g / Wi-Fi; 802.2.15.4 / Zigbee; 6LowPAN; Bluetooth	PLC <i>Indoor</i> ; Rede ponto a ponto; Barramento Ethernet

Fonte: Adaptado do IEEE *Guide For Smart Grid* (IEEE 2030) (4)

4 REDES WIRELESS

4.1 IEEE 802.15.4

O padrão IEEE 802.15.4 define todas as especificações de comunicação da camada física e da camada de acesso ao meio para redes de comunicação sem fio que operam com baixa taxa de transmissão de dados. Ou seja, são utilizadas para implementar wireless personal area networks (WPANs) que podem ser reutilizadas para smart grids em HAN. Esta norma foi utilizada para especificação de tecnologias como ZigBee, WirelessHart e ISA100.11a. Sua faixa de operação pode variar e no Brasil atualmente é utilizada a frequência de 2.4 GHz. Diferentes topologias podem ser aplicadas a este padrão, sendo elas, peer-to-peer, star e cluster tree (5) e (6). Foi proposto pelo IEEE um novo padrão sem fio para redes inteligentes de medição, denominado IEEE 802.15.4g, também conhecido como Smart Utility Networks (SUN), concebido através de alterações na camada física e MAC do padrão IEEE 802.15.4. Este padrão foi definido para redes sem fio, de baixas potências, com baixas taxas de dados e que abrangem muitos nós de comunicações em extensas áreas geográficas, atendendo assim as premissas das NANs. As SUNs foram projetadas para operar em bandas não licenciadas, que podem ser utilizadas por outras tecnologias, levando a importância de um planejamento onde ocorra coexistência de tecnologias nas smart grids FIGURA 7.

4.2 WiMAX

A tecnologia WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) é uma tecnologia sem fio de banda larga, baseada nos padrões IEEE 802.16 [71]. Esta tecnologia oferece grandes taxas de comunicações cobrindo grandes áreas geográficas. A taxa nominal por setor é de 72 Mbps e a cobertura pode atingir até 48 Km (8). Em contrapartida, o seu custo (considerando licença de espectro e estrutura) e a necessidade de compartilhar a largura de banda entre os usuários podem ser um empecilho para a sua implementação. Pode-se utilizar o WiMAX em diferentes topologias sendo elas: peer-to-peer, mesh ou híbrida. Esta tecnologia atende as premissas das NANs e WANs, tendo possíveis aplicações em detecções de falhas na rede, restauração de interrupções, conexão das medições dos usuários aos concentradores de dados, comunicações de última milha e preços em tempo real (9).

4.3 Redes de Comunicações Móveis Celulares

As redes celulares estão em constante evolução, aumentando suas taxas de dados, elevando sua cobertura geográfica e reduzindo os atrasos no processo de comunicação para se adaptar as aplicações demandadas pelos usuários (10). Porém, as redes públicas com tecnologia celular não foram projetadas inicialmente para atender as demandas das aplicações de uma smart grid, sendo assim necessário uma adaptação das suas tecnologias para a utilização nesse novo contexto. As tecnologias de comunicação celular disponíveis atualmente são o 2G (CDMA 2000, 1XRT, GSM, GPRS e EDGE), 3G (EVDO, WCDMA, HSPA e HSPA+) e 4G (LTE, LTE Advanced e LTE Advanced PRO). O 5G foi lícitado no Brasil em novembro de 2021 e começará a ser implantado em breve. O edital possui metas fixadas ano a ano. As primeiras vencem em julho de 2022, quando todas as capitais brasileiras devem ter cobertura 5G. Já em 2028, a meta é para cobertura de todas as cidades do país (13). A tecnologia LTE em redes de dados vem sendo vista com bons olhos pelas distribuidoras de energia para aplicações de smart grids seja como backhaul ou automação do SEP. Esta tecnologia pode ser aplicada em automação da distribuição, IMA, monitoramento em resposta a demanda e restauração e detecção de falhas nas redes (10).

A tecnologia 5G é a mais recente no cenário das redes de comunicação móveis. Comparada com a sua antecessora (4G) é caracterizada por elevadas taxas de dados e baixa latência (14). Promete uma grande revolução no cenário tecnológico, apresentando taxas de dados que podem chegar a 20 Gbps, cobertura de até 50 Km e latências inferiores a 1 ms. Para o cenário das smart grids, a tecnologia 5G pode ser aplicada em automação da distribuição, controle de cargas, RED e resposta a demanda (15).

4.4 Radioenlaces digitais

Os sistemas de radioenlaces digitais exercem um papel preponderante e fundamental como um dos meios mais importantes na transmissão de informações. É uma solução que combinada com as hierarquias dos sistemas de multiplexações PDH e são amplamente utilizadas pelas concessionárias de energia para atender os requisitos de comunicação em redes de alta tensão, ao qual inclui as ações de teleproteção e religamento à distância. As suas distâncias típicas de aplicação são de 5 a 140 km.

4.5 VSAT

O sistema de comunicações via satélite das redes VSAT (Very Small Aperture Terminal) teve a sua operação iniciada nos Estados Unidos no ano de 1981, como pequenos terminais de dados utilizados nas redes corporativas. Tais terminais possuíam a característica básica de customizar os serviços oferecidos para o cliente. Atualmente, a abrangência dos serviços ofertados para as contratações são bem maiores do que as propostas iniciais e estão muito bem difundidas. Esta tecnologia é utilizada pelas concessionárias de energia elétrica quando as distâncias envolvidas entre o centro de controle e os dispositivos controlados são enormes ou não existe cobertura por rede alguma. Atualmente, a maioria dos padrões em desenvolvimento para 5G já não separa mais os enlaces terrestres dos satelitais. Ou seja, os novos padrões integram ambas as redes. Isso está sendo feito no padrão 5G do 3GPP. Este tipo de tecnologia apresenta um atraso de propagação e de processamento entre as estações VSAT, que deve ser

considerado nos dimensionamentos para os serviços de teleproteção. Entretanto, é uma solução adequada para os serviços de telemetria, reconfiguração automática e religamentos, conforme indicado por (16). Ainda, é comum o uso de otimizações nos protocolos TCP (e outros da Internet) para que os atrasos sejam reduzidos. Também são utilizados caches de armazenamento temporário para trazer conteúdos de acesso frequente ou sensível a atraso mais próximo dos clientes remotos.

5 REDES CABEADAS

Historicamente, conforme mostra a FIGURA 1(a) NY-EUA-1880, o problema de compartilhamento de cabos em postes, de energia elétrica e de telecomunicações cabeadas, das grandes cidades já perdura por mais de 100 anos (17). Nesse mesmo contexto, a FIGURA 1(b) mostra uma imagem similar, mas recente, de um poste poluído com diversos cabos, em uma região nobre de Belo Horizonte-MG. Assim, o uso mútuo dos ativos e a coexistência não é harmoniosa até então entre os setores de energia e de telecomunicações, o que pode restringir a expansão das redes de dados cabeadas nos grandes centros urbanos. Desta forma, do ponto de vista físico e lógico, não existe viabilidade técnica para a instalação de novas redes dentro da faixa de ocupação destinada para telecomunicação, o que acaba constituindo naturalmente em barreira de entrada para novas prestadoras de serviço de telecomunicações e assim, restringir o desenvolvimento econômico de uma determinada região. Por meio de um projeto piloto implantado na UniverCemig - Sete Lagoas-MG para reverter essa tendência desorganizada e com a limitação dos canais de banda larga, que o conceito da Rede Sinérgica foi desenvolvido, conforme mostra a FIGURA 1(c). Vale destacar a despoluição visual do poste causada pela nova forma de instalação dos cabos de energia elétrica e de dados, com as fibras ópticas integradas em sinergia (18).

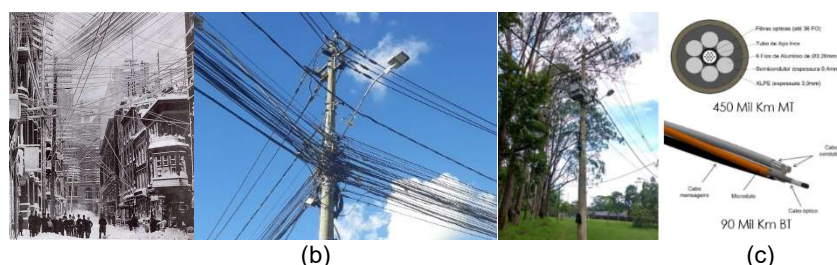


FIGURA 1 - Visão crítica do conceito das redes cabeadas: (a) o problema do compartilhamento nos postes, (b) o problema compartilhamento persiste e (c) a nova topologia das Redes Sinérgicas em testes na UniverCemig.

5.1 Linhas Aéreas Sinérgicas - LAS

LAS, na sua concepção tecnológica foi desenvolvida pela Cemig em parceria com o CPQD, permite diversos serviços em comunicação de dados por meio de redes cabeadas de fibras ópticas junto aos ativos de linhas áreas, incluindo não somente os tradicionais cabos OPGW, mas usando também todos os condutores fase, que são tecnicamente denominados na literatura por Optical Phase Conductor – OPPC (25), como novo meio adicional de levar as fibras ópticas para diversas localidades em telecomunicações. O conceito e plataforma LAS estão em operação experimental no Brasil, desde 2014 (19). Essa tecnologia vem sendo explorada com foco primordial na expansão e/ou na reforma dos ativos dos setores de energia elétrica e para compartilhamento dessa infraestrutura com telecomunicações. Notadamente, essa nova opção de smartgrids óptico potencializa a modernização dessas empresas por meio da digitalização, ampla e irrestrita pelas fibras ópticas. A largura de banda, baixa latência, sem interferências de RF, rede passiva de sensores, e principalmente, pela elevada segurança cibernética em uma rede cabeada e fechada tem sido a principal vantagem dessa tecnologia. A opção de utilizar os condutores energizados na alta tensão, com fibras ópticas integradas, foram baseados nos modelos convencionais de cabos OPGW, mas que passam suas fibras ópticas por meio de tubos de aço inoxidável e estão instalados na parte central ou acomodados em alguma camada do condutor fase. Os condutores OPPC estão energizados, exigindo isolamento elétrico especial, de acordo com a tensão elétrica em que estão instalados. Com essa nova topologia híbrida, com a fibra óptica em contato direto às partes metálicas dos condutores de energia elétrica, novas funções e aplicações da LAS surgem, tais como: i) disponibilizar novas opções de canais de telecomunicações de banda larga (backbone) em grandes distâncias; ii) redundância de sistemas de telecom (backbone); iii) infraestrutura de rede inteligente de longo alcance; iv) internet (redes privadas ou externas) junto aos ativos no campo; v) IoT e Indústria 4.0; vi) monitoramento discreto e/ou distribuído de diversas grandezas (tensão, temperatura, vibração, balanço dos condutores, etc); vii) vídeo monitoramento; viii) estações climatológicas; ix) detecção de fogo, e dentre outras possibilidades que irão demandar, cada vez mais, canais cabeados de dados em banda larga, e com alta segurança cibernética intrínseca pelo uso das fibras ópticas. A UniverCemig, na cidade de Sete Lagoas em MG, foi o local da primeira instalação para testes dos novos componentes que compõe o sistema LAS. O link óptico do teste pode atingir até 17 km de comprimento de fibras ópticas, usando as instalações internas da UniverCemig, conforme está detalhado na FIGURA 2.



FIGURA 2 - Construção da LAS na UniverCemig: (a) base do novo isolador óptico e elétrico 138 kV, (b) instalação do arranjo com o novo condutor OPPC; (c) rack com as terminações das fibras ópticas e os equipamentos da rede óptica, e (d) foto aérea dos elementos instalados da LAS.

5.2 Redes Sinérgicas - RS

A topologia da Rede Sinérgica - RS foi derivada do conceito LAS, e de outros projetos em optica aplicada desenvolvidos pela Cemig, em parceria com o CPQD (18). O conceito RS requereu o desenvolvimento de novos elementos de rede no Brasil, tanto para a baixa tensão, quanto para a média tensão, utilizando a tecnologia óptica como infraestrutura de rede. A RS utiliza uma rede cabeada e fechada por meio de fibras ópticas que permite melhorar a supervisão, monitoramento e controle dos ativos de distribuição de energia elétrica. Dessa forma, a qualidade desse serviço público pode melhorar, além de propiciar uma nova opção de compartilhar as fibras ópticas excedentes para as empresas de telecomunicações, que atualmente tem alta demanda, com tendência a permanecer crescente devido à evolução do mercado de telecomunicações, tanto pelo número crescente de prestadoras desses serviços, como também, pelo incentivo à construção de redes de dados, demandado pelo Plano Nacional de Banda Larga do Governo Federal. A implantação da RS como uma nova topologia para redes de distribuição, de média e baixa tensão, possibilita uma rede de comunicação de alto desempenho em banda larga e elevada disponibilidade quando comparado com outras tecnologias de comunicação por RF, além de permitir o sensoriamento da rede elétrica utilizando as fibras ópticas dos cabos sinérgicos como elemento sensor também.

A abrangência das Redes de Distribuição de Energia Elétrica (RDEE) potencializa projetos de massificação como o "Internet para todos", principalmente nas áreas rurais, onde há pouco interesse econômico ainda, para expansão das redes cabeadas em fibras ópticas. Assim, para a rede sinérgica de média tensão foram desenvolvidos 3 elementos principais: i) os cabos condutores com fibras ópticas integradas, ii) as muflas ópticas/elétrica e iii) as caixas de emendas óptica e elétrica suportadas por isoladores. A Furukawa Electric do Brasil desenvolveu no âmbito de um projeto de P&D específico em parceria com o CPQD (20), os cabos condutores com fibras ópticas integradas para redes de distribuição, que foram denominados de cabos OPDC (Optical Distribution Cable). A FIGURA 3 apresenta os protótipos desses novos cabos OPDC. A FIGURA 4 apresenta detalhes construtivos dos emento óptico/elétrico de isolamento das fibras opticas na média tensão. Na baixa tensão - BT utilizou-se um cabo multiplex convencional com lançamento de um ou mais microdutos para a instalação de um cabo óptico. A rede de distribuição construída utilizando cabos multiplexados com microdutos permite construir uma rede de distribuição óptica com grande capilaridade, podendo ser configuradas as mais diversas arquiteturas e topologias de redes ópticas, tais como, as redes ópticas de distribuição passivas (PON - Passive Optical Network).

O primeiro protótipo do cabo multiplexado sinérgico foi fabricado pelo fabricante de cabos Condumax e foi especificado tendo 3 fases de 70 mm², um mensageiro de 70 mm² e mais dois microdutos, um de 18/14 mm e outro de 14/10 mm, conforme mostra a representação na FIGURA 5(a). A implantação experimental da RS, em escala real foi na UniverCemig em Sete Lagoas/MG, e consistiu na construção de aproximadamente 400 metros de rede sinérgica de distribuição, utilizando cabos condutores com fibras ópticas, muflas ópticas, caixas de emendas ópticas suportada por isoladores e cabos multiplexados sinérgicos. A FIGURA 5 (b e c) apresentam detalhes da instalação da caixa de emenda óptica suportada por isolador na média tensão.

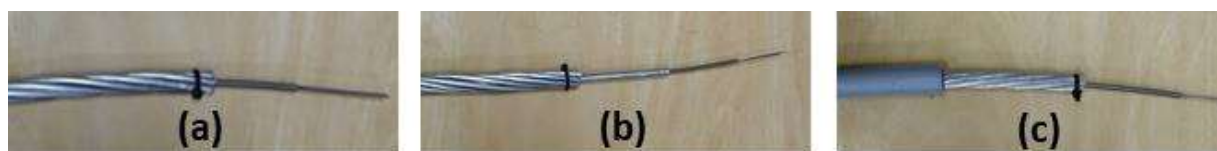


FIGURA 3 - (a) Cabos OPDC 1/0 Fase nu - (b) Cabo OPDC 3/8 Mensageiro - (c) Cabo OPDC 50 mm² protegido.

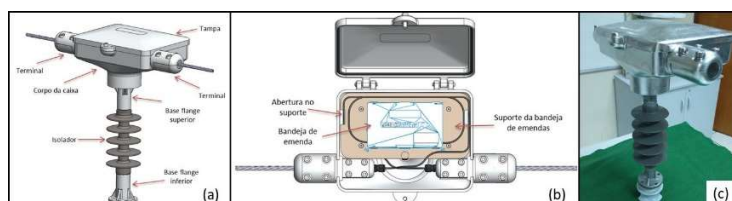


FIGURA 4 - (a) Ilustração 3D geral - (b) detalhe da caixa de emenda - (c) fotografia real da caixa de emenda

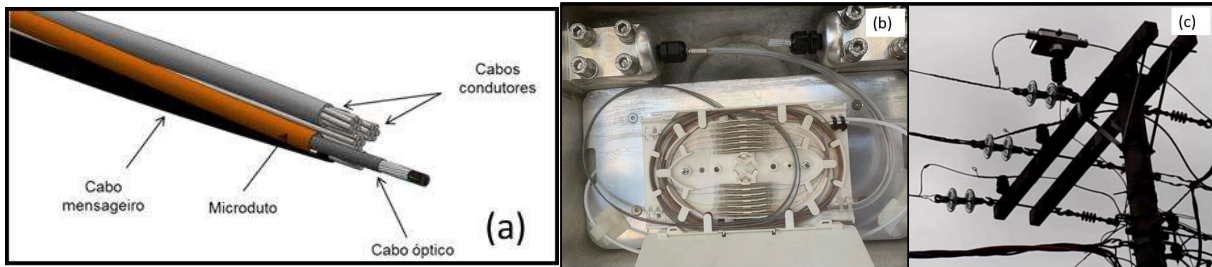


FIGURA 5 - (a) Esquemático do cabo multiplex na BT, (b) ponto de emenda elétrica e passagem óptica - (c) ponto de emenda ou derivação óptica e elétrica na MT.

5.3 Aplicações Práticas em Smartgrids

Para monitorar dados e simultaneamente permitir a transmissão de dados na mesma fibra óptica, entre duas subestações (21), uma arquitetura de rede mostrada na FIGURA 6, que é uma das diversas topologias de barramento CWDM foi desenvolvida pela CPQD. Neste caso, dois terminais de transmissão / recepção CWDM são utilizados em cada subestação para multiplexar o sinal de monitoramento e comunicação. A unidade transmissora é composta por uma placa principal na qual duas placas de alimentação são acopladas a uma placa de supervisão e 8 transceptores SFP CWDM. Uma das grandes vantagens do CWDM é que é um sistema econômico em comparação ao WDM.

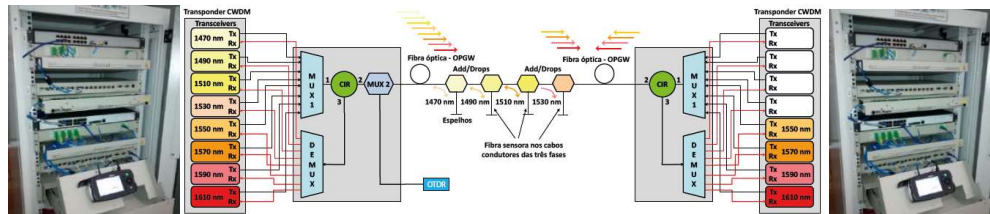


FIGURA 6 - Diagrama de uso do Sistema CWDM para compartilhar canais de sensoriamento com a comunicação de canais para dados em banda larga.

A interrupção da energia da luz refletida causada por qualquer dano nas fibras ópticas embutidas nos cabos OPPC são detectadas pelo terminal CWDM em uma das subestações. A FIGURA 7(a) ilustra essa representação de forma simplificada. Cada saída de alarme TTL de cada transceptor, conforme mostra a representação da FIGURA 7(b) é lida pela placa de supervisão onde uma tabela lógica e apropriada está definida em um microprocessador, que verifica se os alarmes correspondem à condição de condutor inteiro ou rompido. Em caso de confirmação de rompimento do condutor OPPC, esta placa acionará outro sinal utilizando uma interface elétrica apropriada e o enviará para uma entrada apropriada do relé de proteção, a fim de informar ao SCADA que existe uma informação de campo para não realizar o religamento automático dessa LT, e essa informação é obtida em alguns milissegundos, mesmo antes da tomada de decisão da proteção atuar ou não. Essa é outra grande vantagem da tecnologia óptica, isto é, a velocidade de detecção é proporcional à velocidade do deslocamento da luz no núcleo da fibra óptica. Assim, para o monitoramento de LTs, em tempo real, ainda não existe outra tecnologia com essa característica.

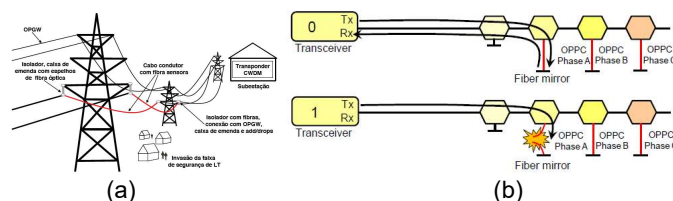


FIGURA 7 - (a) esquema representação da aplicação em campo e (b) receptores dos transceptores detectam os sinais refletidos devido à falha do link óptico dentro condutor OPPC.

A FIGURA 8 (a) mostra o sistema de detecção de deformação óptica por meio da técnica óptica FGB utilizando sensores junto ao corpo da estrutura da LT. Nestes pontos, o hardware de detecção FGB não precisa ser energizado e isolado. Esta é a primeira grande vantagem desse tipo de tecnologia de sensor FGB conectado ao link de fibra óptica. O sensor óptico GB permite medir deformação, ou a força, atuante na torre e no condutor. Normalmente, o interrogador óptico pode ser instalado em um site de telecomunicações e o ponto da monitoração pode estar até 100 km de distância. Nesse contexto, na implementação de um programa mais robusto de monitoramento para a gestão desses ativos de LTs, em tempo real, estima-se um custo OPEX menor com o uso da tecnologia de redes ópticas, pois esta, é a segunda grande vantagem na infraestrutura de rede óptica inteligente quando comparada às tecnologias convencionais. Na estrutura de linhas de transmissão não existe infraestrutura de energia elétrica

disponível para alimentar uma câmera digital convencional. Assim o uso da técnica “PoF – Power over Fiber” ou alimentação pela fibra óptica pode ser aplicada. A FIGURA 8 (b) ilustra a concepção simplificada do sistema PoF de câmera de vídeo de baixa potência fixada na torre da LT e a transmissão do sinal de vídeo é feita por uma fibra óptica pertencente a um cabo OPGW (Optical Ground Wire). A FIGURA 8 (c) ilustra um medidor de corrente e/ou tensão sendo aplicado na Rede Sinérgica com uso da PoF no cabo OPDC. Este sistema PoF permite a transmissão de sinais de vídeo por até 10 km de enlace óptico. Em relação ao consumo de energia elétrica, os circuitos eletrônicos apresentaram consumo inferior a 0,5 W de potência óptica (22).



FIGURA 8 - (a) Interrogador de sensores Grade Bragg aplicados LT 138 kV, (b) Camera PoF LT Bonsucesso – Gutierrez, 138 kV e (c) PoF na medição corrente e tensão 13,8 kV.

A técnica óptica distribuída de monitoração contínua DTSS vem sendo desenvolvida para viabilizar a medição de variações ao longo de grandes extensões de redes, a saber, da ordem de quilômetros (23). Esta técnica baseia-se na monitoração óptica de efeitos não lineares que são sensíveis a variações de temperatura e deformação mecânica que ocorrem no interior das fibras ópticas, que no conceito LAS e RS estão incorporadas aos condutores OPPC e OPDC. Por meio dos efeitos, como Raman, Brillouin e Rayleigh é possível monitorar a temperatura, a deformação mecânica, e os efeitos das vibrações mecânicas em linhas e redes que tenham fibras ópticas disponíveis e/ou compartilhadas, para essa finalidade. Com o Efeito Raman (Sensor de Temperatura Distribuído - DTS) é possível medir temperaturas distribuídas ao longo da fibra óptica que está em contato físico com a parte metálica dos condutores sinérgicos. Assim, as informações para uso no cálculo da capacidade de transmissão e distribuição por meio da variação de temperatura do OPPC e OPDC podem ser obtidas. Outras funções, como obter a altura condutor ao solo resultantes de variações de temperatura do condutor OPPC, devido às mudanças climáticas bruscas, corrente curto circuito, e/ou incêndios florestais podem ser obtidos ao longo de toda linha e rede. Outra grande vantagem para monitoramento óptico amplo, de plantas industriais, é a possibilidade de medir a temperatura usando o efeito Raman DTS, que não é afetada pela deformação do condutor, e a sua extensão de medição pode chegar até 50 km. De outra forma, usando o efeito Brillouin (Distributed Temperature and Strain Sensing - DTSS) é possível medir a temperatura e a deformação mecânica (ou a força) pode atingir até 150 km. E, por último, o efeito Rayleigh (Distributed Acoustic System - DAS) fornece informações sobre a vibração mecânica por meio de ruídos sonoros percebido na alteração do feixe de luz e ao longo da fibra óptica, que podem estar correlacionados à presença de descargas parciais anormais, como por exemplo em cabos isolados.

6 REDES HÍBRIDAS

A evolução das redes sem fio aponta para próxima geração de tecnologia celular, que oferece recursos de comunicação excepcionais para as funções operativas demandadas pelos provedores de serviços de energia e abre novas oportunidades de colaboração com operadoras de rede móvel e de fornecedores de backbones ópticos. A necessidade de maior eficiência, segurança e melhorar experiência do usuário está levando a adoção da Internet das Coisas (IoT) em uma série de aplicações industriais e de cidades inteligentes. As comunicações associadas aos serviços operativos das utilities, em especial dos provedores de serviços de energia, estão entre as aplicações críticas e mais exigentes em termos de: parâmetros de conectividade, taxa de dados, cobertura, tempo de resposta, disponibilidade e segurança. As redes de dados precisam cobrir toda a área de concessão, desde os grandes centros com elevada densidade de pontos a serem automatizados, até locais desafiadores, como por exemplo as áreas rurais remotas, com pontos bastantes dispersos. Milhões de dispositivos devem estar conectados com um grau extremo de confiabilidade e segurança pela digitalização das redes, satisfazendo exigências rigorosas de desempenho, baixa latência e confiabilidade para suportar uma ampla variedade de casos de uso que vão desde a medição inteligente ao gerenciamento de falhas em tempo real, aplicações de vídeo monitoramento, gerenciamento da carga e dentre outras necessidades. As novas tecnologias celulares, incluindo LTE, IoT e 5G em um futuro bem próximo, são projetadas não apenas para interconectar melhor as pessoas, mas também para interconexão e controle de máquinas, objetos e dispositivos. A FIGURA 9 (a) ilustra os principais casos de uso habilitados pela tecnologia 5G, relacionadas aos “vértices” de aplicação 5G – Banda/ Latência-Confiabilidade /No. de Equipamentos, de acordo com os requisitos predominantes de cada aplicação para as redes de distribuição de energia elétrica.

Por outro lado, pela forma complementar e híbrida das redes de dados, com a chegada da tecnologia 5G e IoT aumentará drasticamente a demanda por fibras ópticas para possibilitar a interconexão entre as diversas torres e equipamentos. Para construir essa nova geração de redes híbridas, de maneira econômica e eficiente, é muito importante reduzir o diâmetro e o peso dos cabos ópticos. Assim, uma possibilidade será a utilização da tecnologia ribbon, que se trata de um conjunto de fibras unidas entre si, formando uma fita de fibras ópticas, podendo o ribbon ser do tipo encapsulado ou flexível. Com a tecnologia ribbon é possível fabricar cabos com até milhares de fibras ópticas com praticamente o mesmo peso e diâmetro dos cabos convencionais de até 288 fibras. À medida que o número de fibras ópticas aumentam com a implantação de cabos de alta capacidade, também é importante reduzir

o seu tempo de instalação realizando emendas em massa ou emendas multifibras. A FIGURA 9 (b) apresenta uma formação de cabo de tecnologia ribbon (24).

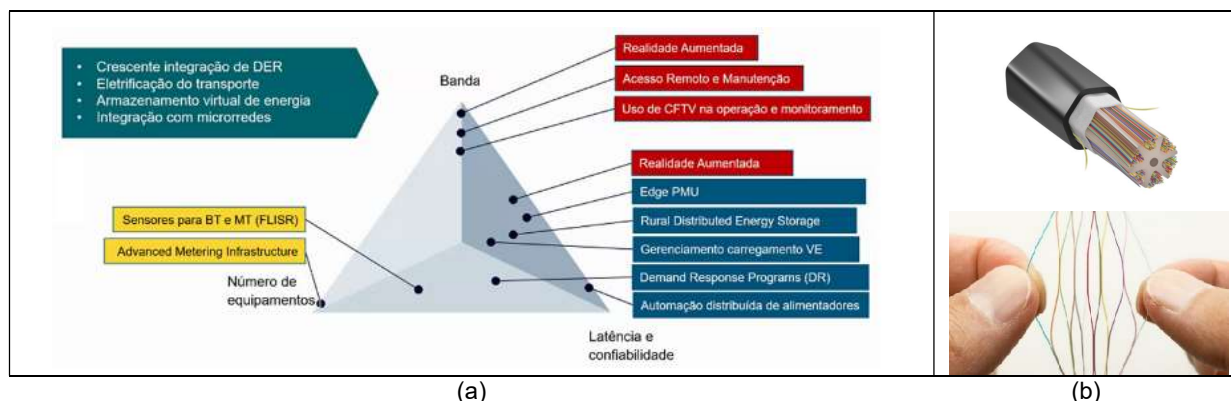


FIGURA 9– (a) Casos de Uso de Provedores de Energia habilitados 5G (Fonte: Siemens Energy Automation), e (b) Tecnologia ribbon de conjunto de fibras ópticas unidas entre si.

7 CONCLUSÃO

Entre as transformações tecnológicas em curso como o fenômeno disruptivo da Uber do setor de transporte, irão transformar a engenharia de telecomunicações movendo-a para novos paradigmas. Nesse contexto, esse artigo apresentou um roadmap das principais redes de telecomunicação com aplicações para smart grids. Como tendências, as funções críticas de supervisão e controle passam a ter acesso a inúmeros dispositivos e sensores distribuídos na infraestrutura de energia elétrica, a partir de redes de comunicação de dados dedicadas ou compartilhadas. A comunicação entre os agentes de mercado e os provedores de serviços terceirizados demandam rede internet para comunicação com os sistemas empresariais das empresas de energia. Novas funcionalidades (ex. geração distribuída, automação residencial, veículos elétricos, medição remota, gerenciamento pelo lado da demanda, etc.) demandam novas interfaces de comunicação direta com o consumidor, possibilitando que este, em determinado grau, interaja diretamente com o seu provedor de energia elétrica. A sinergia entre áreas do conhecimento em smartgrid, para permitir a evolução dos serviços de energia elétrica e de dados em banda larga requerem uma transformação digital ampla desses setores. Este trabalho também apresentou o conceito das Linhas e Redes sinérgicas com alguns testes já realizados pela Cemig em parceria com o CPQD para a digitalização por meio da tecnologia óptica. A ruptura tecnológica das linhas e redes sinérgicas requereu novos elementos de topologia de rede elétrica e óptica, que propõe a utilização de fibras ópticas integradas aos cabos condutores para atender as demandas de comunicação e sensoriamento em redes inteligentes, além de trazer como benefício uma nova opção para compartilhamento de infraestrutura. Por outro lado, a evolução das redes sem fio aponta para próxima geração de tecnologia celular, que oferece recursos de comunicação excepcionais para as funções operativas demandadas pelos provedores de serviços de energia e abre novas oportunidades de colaboração com operadoras de rede móvel e de fornecedores de backbones ópticos em redes híbridas. Finalmente, pela forma complementar e híbrida das redes de dados nas smartgrids, com a chegada da tecnologia 5G e IoT, aumentará drasticamente a demanda por fibras ópticas para possibilitar a interconexão entre as diversas torres e equipamentos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) L. Jianming, W. Jiye, F. Pengzhan and Z. Zichao, "Application of PFTTH in smart grid," 13th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT2011), Korea (South), 2011, pp. 389-392.
- (2) L. Jianming, Z. Bingzhen and Z. Zichao, "The smart grid multi-utility services platform based on power fiber to the home," 2011 IEEE International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems, Beijing, China, 2011, pp. 17-22, doi: 10.1109/CCIS.2011.6045024.
- (3) Department of Energy, "Communication requirements of smart grid technologies," 2010.
- (4) IEEE, IEEE Std 2030 - IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads, NY, 2011.
- (5) M. Abrar, M. A. Tahir, R. Masroor, H. M. U. Hamid, Real time smart grid load management by integrated and secured communication, in: 2018 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE), pp. 253-257.
- (6) N. Batista, R. Melício, J. Matias, J. Catalão, Photovoltaic and wind energy systems monitoring and building/home energy management using zigbee devices within a smart grid, Energy 49 (2013) 306 – 315. "http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544212008390".
- (7) R. Ma, H. H. Chen, W. Meng, Dynamic spectrum sharing for the coexistence of smart utility networks and w lans in smart grid communications, IEEE Network 31 (2017) 88-96.
- (8) Q. D. Ho, Y. Gao, T. Le-Ngoc, Challenges and research opportunities in wireless communication networks for smart grid, IEEE Wireless Communications 20 (2013) 89-95.

- (9) V. Daravath, A. Daravath, Wimax (ieee 802.16) broad band technology for smart grid applications, in: 2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP), pp. 1273– 1275.
- (10) A. Lioumpas, A. Alexiou, C. Anton-Haro, P. Navaratnam, Expanding lte for devices: Requirements, deployment phases and target scenarios, in: 17th European Wireless 2011 - Sustainable Wireless Technologies, pp. 1–6.
- (11) C. Kalalas, L. Thrybom, J. Alonso-Zarate, Cellular communications for smart grid neighborhood area networks: A survey, IEEE Access 4 (2016) 1469–1493.
- (12) Ts 25.913; requirements for e-utra and e-utran (release 9), 3GPP (2009).
- (13) <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2021/11/leilao-do-5g-confirma-expectativas-e-arrecada-r-47-2-bilhoes>
- (14) M. A. Ferrag, L. Maglaras, A. Argyriou, D. Kosmanos, H. Janicke, Security for 4g and 5g cellular networks: A survey of existing authentication and privacy-preserving schemes, Journal of Network and Computer Applications 101 (2018) 55 – 82.
- (15) C. T. B. R. Institute, 5g network slicing enabling the smart grid (2018).
- (16) utili, Vsat, 2018. <https://www.newtec.eu/>.
- (17) Building the invisible city". The New York Historical Society.
- (18) Projeto P&D ANEEL / CEMIG D0613, CEMIG D566 Continuidade Fase II: Desenvolvimento de redes sinérgicas para aplicações em redes de distribuição de energia; CEMIG Distribuição S/A; Entidade executora: CPQD e Balestro; 2018.
- (19) Projeto P&D ANEEL PD-4950-0520/2014; Sistema óptico de monitoramento da integridade física de cabos de linhas de transmissão em vãos críticos; CEMIG Distribuição S/A; Entidade executora: CPQD; 2014.
- (20) Projeto P&D EMBRAPII (PCPQD 15070004.00), Cabos com fibras ópticas integradas – OPDC; FURUKAWA do Brasil S/A; Entidade executora: Unidade Embrapii CPQD; 2015.
- (21) J. B. Rosolem - CPQD, Brazil "Optical system for broadband data transmission concomitant to monitoring the physical integrity, Cigre Paris Session 2018, SC-B2, August 2018, Paris, France.
- (22) Bassan, F., Rosolem, J.B., Floridia, C., Aires, B., Peres, R., Aprea, J., Nascimento, C.A.M., Fruett, F. Power-over-Fiber Smart Sensor Fully-Connected in a Hybrid Fiber/Power Distribution Cable; The 3rd Optical Wireless and Fiber Power Transmission Conference (OWPT2021); Online; Japan; Apr. 19 - 22, 2021.
- (23) Projeto de P&D: D382 "PA - Sistema óptico para sensoriamento distribuído de temperatura e tensão mecânica de LT aéreas e subterrâneas"; ANEEL PD-382- 2010; CEMIG D'; Fundação CPQD;
- (24) Ref. <https://sumitomoelectricalightwave.com/product/slotted-core-ribbon-1152-fiber/>
- (25) Y. Huang and Y. Zhu, "Application of Optical Phase Conductor in Smart Grid Construction," 2020 IEEE 9th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC), 2020, pp. 702-706, doi: 10.1109/ITAIC49862.2020.9338858.

DADOS BIOGRÁFICOS



Engenheiro de TECNOLOGIA da Cemig D. Doutor em Engenharia Elétrica pela UFMG (2009), com graduação e mestrado em engenharia mecânica. Experiência em Engenharia de Energia Elétrica, com ênfase em Inovações, atuando: monitoramento de ativos GTD, projetos de linhas e redes, ampacidade, fibras ópticas, condutores especiais, supercondutores. Atua nos estudos de tecnologias emergentes, tais como: Energias Alternativas; Hidrogênio; Robótica Aplicada; Digitalização; Redes Inteligentes e Eletrificação. Premiação: Prêmio Cigre Internacional Distinguished Member Awards 2020; Paper Award Japão 2021 em Tecnologias Ópticas; 1º. Prêmio Mineiro de Inovações e outros prêmios internacionais e nacionais. Possui 15 registros de patentes, marcas e softwares no INPI.

- | | | |
|--|-------------------|-----------|
| (2) | DANIEL
SENNNA | GUIMARÃES |
| Graduado em eng. elétrica pela PUC MG. Especialista em Análise de Sistemas e Msc. Eng. Elétrica pela UFMG. Possui MBA Finanças pelo IBMEC. Na Cemig atuou em engenharia e planejamento de sistemas elétricos até 2009. De 2009 a 2013 foi gestor para implantação do Projeto Cidades do Futuro para avaliação da aplicação das redes inteligentes na Cemig e gerente do Projeto Estratégico ANEEL de P&D "Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente". Atuou em Telecomunicações da Cemig entre 2013 e janeiro de 2021. A partir de fevereiro de 2021 passou a atuar na área de Medição e Perdas da Cemig | | |
| (3) | AGNALDO
CESAR | BONINI |
| Graduado em Eng. Elétrica pela Faculdade de Engenharia de Barretos (FEB). Pós graduação em Gestão de Projetos. Gestão da Construção das Redes HFC para CEMIGTelecom de 2000 a 2007. Gestão das empresas Contratadas de implantação e fiscalização MG. De 2013 a 2018 atuou na Gestão do projeto de expansão de redes de telecomunicações no Brasil, sendo responsável por toda implantação e controle das empresas contratadas. De 2018 a 2021 atua em telecomunicações da Cemig na gestão do orçamento de despesa da área, gestão de Telefonia, gestão do processo de capitalização da área, gestão do processo de contratos e notas fiscais. | | |
| (4) | BRUNO
NOGUEIRA | AIRES |

Possui graduação em Engenharia de Telecomunicações pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (2012). Atualmente trabalha na Fundação CPqD desde 2011. Tem experiência na área de infraestrutura de Redes Ópticas, atuando em projetos de relacionados a cabos com fibras ópticas e acessórios. Participou do desenvolvimento de microcabos ópticos, com participação em fóruns para a especificação de requisitos e elaboração de normas técnicas. Desenvolve trabalhos de pesquisa e coordenação em projetos do setor elétrico no desenvolvimento de sistema com cabos condutores com fibras ópticas integradas e sensores ópticos para monitoramento de barragens. Atua também no laboratório de certificação de cabos ópticos e acessórios.

(5) **EDUARDO FERREIRA DA COSTA**
Possui doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é engenheiro da Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em circuitos eletrônicos e optoeletrônicos, atuando principalmente nos seguintes temas: óptica, fibra óptica, sensores a fibra óptica, Smart Grid, Power Line Communications (PLC) e telecomunicações em geral. Tem atuado como pesquisador e coordenador de projetos de P&D para o Setor Elétrico.

(6) **LEONARDO HENRIQUE DE MELO LEITE**
Doutor e Mestre em Engenharia Elétrica (UFMG – 2016 / 2005).
Graduação em Engenharia Elétrica (UFMG – 2000).
Técnico em Eletrônica Industrial (CEFET – 1993).
Engenheiro Eletricista Sênior da FITec há mais de 20 anos. Coordenador Técnico de diversos projetos em empresas de energia elétrica.
Professor dos Cursos de Pós Graduação – Master Setor Elétrico, Automação de SEP e Proteção de SEP - PUC-MG.
Professor adjunto do curso de Engenharia Elétrica do UNI-BH (11 anos).
Revisor de periódicos nacionais e internacionais.
Áreas de atuação: Geração Distribuída de Energia, Smart Grids, Energia Renováveis, Automação de SEP, Co-Simulação de Sistemas de Energia e Telecomunicações, Sistemas de Missão Crítica.