

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

LINHAS SINÉRGICAS - CONCEITO E PLATAFORMA TECNOLÓGICA

CARLOS ALEXANDRE MEIRELES DO NASCIMENTO(1);EDUARDO FERREIRA DA COSTA(2);BRUNO NOGUEIRA AIRES(2);JOÃO BATISTA ROSOLEM(2);ANA CLÁUDIA BALESTRO(3);ANTÔNIO ERIVALDO DE ASSIS(4);LUIZ SIGUENOBU OBARA(5);ADRIANO APARECIDO DELLALLIBERA(3);MAURISSONE FERREIRA GUIMRÃES(1);WESLEY EDNEY DE SOUSA(1);SIDNEI MASSAMI UEDA(6);THADEU ANTONIO FURTADO;CLAUDIO ANTONIO HORTENCIO CEMIG(1);CPQD(2);BALESTRO(3);CEMIG GERACAO E TRANSMISSAO S.A(4);FURUKAWA ELECTRIC LATAM S.A.(5);ALUBAR(6)

RESUMO

Linhas Aéreas Sinérgicas-LAS gerou um conceito como plataforma tecnológica inovadora, que surgiu da motivação de um sistema óptico para monitoramento de condutores rompidos em linhas aéreas. LAS foi o termo estabelecido para essa tecnologia pelo significado da palavra sinergia, que é a associação concomitante de vários dispositivos desempenhando determinadas funções que contribuem para uma ação coordenada (Smart Grid). Em outras palavras, isso significa a soma dos esforços promovidas por um sistema para o mesmo fim (Eficiência Operacional). O conceito e sua plataforma estão em operação experimental no Brasil desde 2014. O objetivo desse artigo será apresentar o desenvolvimento desse conceito.

PALAVRAS-CHAVE

Linha de Transmissão, Monitoramento em Tempo Real, Tecnologia Óptica, Fibras Ópticas, Optical Phase Conductor.

1.0 - INTRODUÇÃO

A primeira geração de Linhas Aéreas Sinérgicas - LAS, uma tecnologia em desenvolvimento no Brasil, gerou um conceito inovador como plataforma tecnológica, que surgiu de forma indireta à motivação central do desenvolvimento de um sistema óptico para monitoramento de condutores rompidos, em tempo real, de linhas aéreas (1). LAS foi o termo estabelecido para essa tecnologia pelo significado da palavra sinergia, que é a associação concomitante de vários dispositivos desempenhando determinadas funções que contribuem para uma ação coordenada (Smart Grid). Em outras palavras, isso significa a soma dos esforços promovidas por um sistema para o mesmo fim (Eficiência Operacional). No caso específico da LAS será o uso dos ativos para transmissão e distribuição de energia elétrica e de comunicação de dados, cabeados em banda larga, para smartgrid, que utiliza não mais somente o cabo OPGW, mas todos os condutores metálicos disponíveis nas fases, e com isso, gerar uma ruptura tecnologia para a operação em tempo real desses ativos.

LAS, na sua concepção de 1ª geração, permite diversos serviços em comunicação de dados cabeada por meio de fibras ópticas junto aos ativos de linhas aéreas. O conceito e sua plataforma estão em operação experimental no Brasil desde 2014. O objetivo desse artigo será apresentar não somente o desenvolvimento do conceito LAS, mas também incentivar a academia, a indústria e os profissionais de energia elétrica e de telecomunicações a trabalharem mais em sinergia por meio da óptica aplicada. Assim, para construir e materializar esse conceito, na sua forma de aplicação comercial, ainda é um desafio de mercado, seja na expansão e/ou na reforma dos ativos dos setores de energia elétrica e de telecomunicações. Notadamente, essa nova opção de evolução tecnológica de smartgrids óptico potencializa a modernização e a digitalização dessas empresas.

Assim, o conceito LAS surgiu dentro da visão estratégica do Smart Grid Óptico, por meio do uso de uma rede de comunicação cabeadas em fibras ópticas, contando com as suas vantagens intrínsecas, tais como: banda larga alta, baixa latência, sem interferências de RF, rede passiva de sensores, e principalmente, pela elevada segurança cibernética em uma rede cabeada e fechada. A sinergia entre áreas do conhecimento em smartgrid, para permitir a evolução dos serviços de energia elétrica e de telecomunicações são necessárias para acelerar e suportar a materialização da convergência digital em curso no mundo, a fim de: (i) melhorar a aceitação do público na expansão sustentável desses dois setores, (ii) aumentar a segurança operacional dos ativos desses setores, e (iii), atrair a nova geração de profissionais de engenharia, por meio de uma infraestrutura mais compartilhada e mais digitalizada.

De forma complementar, um arcabouço tecnológico e desafiador motivou os projetos de P&D em redes ópticas inteligentes na Cemig, em parceria com o CPQD desde 2002. Um marco fundamental dessa parceria foi incentivar às indústrias correlatas a projetar e produzir os novos equipamentos sinérgicos no Brasil, com destaque para, o condutor fase óptico e o isolador elétrico e óptico, para tensão elétrica até o 138 kV. Os condutores sinérgicos, que são tecnicamente denominados na literatura por Optical Phase Conductor – OPPC (2), foram desenvolvidos com base nos modelos convencionais de cabos OPGW, mas que passam suas fibras ópticas por meio de tubos de aço inoxidável e instalados na parte central ou acomodados em alguma camada do condutor fase. Ao contrário dos cabos OPGW que são aterrados, 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, aos ativos de energia elétrica, vários exemplos de novas funções e aplicações da LAS emergem no mundo digitalizado, tais como: necessidade de mais canais de telecomunicações de banda larga (backbone) em grandes distâncias; redundância de sistemas de telecom (backbone); infraestrutura de rede inteligente de longo alcance; internet (redes privadas ou externas) junto aos ativos no campo; IoT; Indústria 4.0; monitoramento discreto e/ou distribuído de diversas grandezas (tensão, temperatura, vibração, balanço dos condutores, etc); sistemas de medição dos parâmetros elétricos e mecânicos dos ativos; vídeo monitoramento; estações climatológicas; detecção de fogo, e dentre outras possibilidades que irão demandar, cada vez mais, esses canais cabeados de dados em banda larga, e com alta segurança cibernética intrínseca pelo uso das fibras ópticas (3).

Atualmente, a oportunidade de digitalização dos ativos de energia elétrica e ao mesmo tempo o compartilhamento da infraestrutura a ser disponibilizada pelo conceito LAS, na fase de concepção dos novos projetos pode revolucionar o modelo tradicional de viabilizar, planejar, projetar, construir, operar e manutenção em ativos sinérgicos. Impactos significativos são estimados com ganhos, econômicos e sociais, tais como, na redução do CAPEX e OPEX requeridos pelos setores de energia elétrica e telecomunicações, quando são construídos em conjunto na LAS. Isso irá resultar em melhores serviços, mais segurança operacional para as empresas, e ainda, praticar modicidade tarifária para a sociedade com a digitalização ampla desses dois setores.

2.0 - IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO LAS EM ESCALA EXPERIMENTAL

A UniverCemig, na cidade de Sete Lagoas em MG, foi o local da primeira instalação para testes das partes que compõe o sistema LAS (4). A UniverCemig é a unidade corporativa da Cemig que tem como finalidade integrar empregados no provimento e compartilhamento de conhecimento para os negócios da Cemig. Os conhecimentos consolidados e desenvolvidos na UniverCemig são baseados em experiências e tecnologias empregadas na empresa, proporcionando um processo contínuo de aprendizagem e aumento do desempenho no trabalho. A instalação da LAS compreendeu os elementos mostrados na FIGURA 1, que incluiu o novo condutor Linnet OPPC 336 mcm, que foi desenvolvido e cedido pela Furukawa para esta aplicação experimental, e os isoladores elétricos/ópticos com fibras ópticas embutidas desenvolvidos pela Balestro e CPQD, que permitem isolar as fibras ópticas alojadas junto ao corpo do isolador. De forma simplificada, o campo de teste na UniverCemig-LAS está suportado por três torres metálicas. O link óptico do teste foi conduzido pela LAS e por redes convencionais, de fibras ópticas em cabos ADSS, usando as instalações internas da UniverCemig, até terminarem dentro do laboratório de tecnologias ópticas (LTO), que representa a sala de controle do experimento, conforme está detalhada na FIGURA 1. O link óptico pode atingir até 17 km de comprimento, quando as 6 fibras ópticas disponíveis no núcleo do condutor Linnet OPPC estão interligadas em série. A FIGURA 2(a) apresenta o novo isolador, elétrico e óptico, tipo line post sendo preparado com as emendas ópticas no solo e com suas terminações elétricas do condutor OPPC já realizadas. A FIGURA 2(b) apresenta o arranjo da cadeia de suspensão sinérgico, em uma das torres da LAS sendo içada. A FIGURA 2(c) mostra o rack com todas terminações das fibras ópticas do teste, dentro da sala de controle.



FIGURA 1 - Foto aérea com a disposição da LAS e dos elementos instalados na UniverCemig.



FIGURA 2 - Construção da LAS para testes na UniverCemig: (a) realização das emendas na base do isolador óptico e elétrico 138 kV, (b) instalação do arranjo com o condutor OPPC e (c) rack com as terminações das fibras ópticas e os equipamentos da rede óptica, CWDM e OTDR, na central de controle.

2.1 - Novos componentes da infraestrutura LAS

2.1.1 - Condutor Elétrico e Óptico

A Furukawa Electric do Brasil desenvolveu o condutor Linnet-OPPC 336 MCM, conforme mostra a FIGURA 3. A estratégia adotada foi modificar o núcleo do condutor tradicional Linnet ACSR substituindo um dos tentos da alma de aço por um tubo de aço inoxidável com 6 fibras ópticas monomodo. Apesar dessa alteração estrutural, o mesmo diâmetro externo do condutor Linnet OPPC foi mantido, com uma pequena alteração nas suas propriedades, elétricas e mecânicas, não superiores a 5% em relação ao condutor Linnet ACSR convencional.

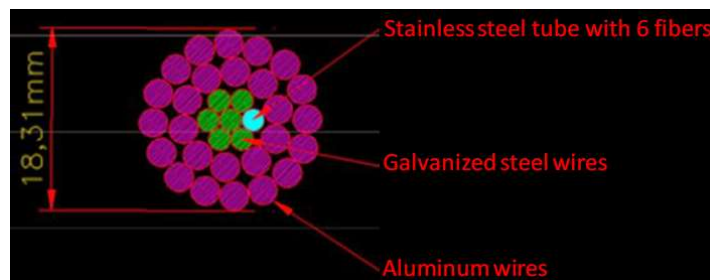


FIGURA 3 - Detalhe da seção do condutor Linnet 336 MCM – OPPC.

2.1.2 - Isolador Elétrico e Óptico

O condutor OPPC requer um dispositivo que assegure a continuidade do link óptico até o sistema de interrogação dos sinais de luz, tendo em vista que as fibras ópticas estão instaladas junto ao potencial elétrico. Este dispositivo também deverá garantir a isolamento completa do sistema. Nesse contexto, a Balestro partiu de um projeto de isolador tipo line post convencional, adaptou e desenvolveu para esta finalidade. Ao contrário dos isoladores comerciais convencionais, o isolador óptico e elétrico contém um furo ao longo do seu bastão interno de sustentação mecânica. Este furo é necessário para a passagem do cordão com as fibras ópticas, que é o elemento responsável por assegurar a continuidade do link óptico na LAS. Após passagem das fibras ópticas no furo do isolador, o mesmo é preenchido por um fluido de silicone isolante para garantir as características originais de isolamento, para a classe de tensão requerida, assegurando a manutenção das condições técnicas da Norma IEC 61952, que rege a fabricação destes isoladores. O projeto mecânico do sistema de acoplamento óptico utilizou a ferramenta computacional SolidWorks. A FIGURA 4 apresenta uma visão geral e em partes, do novo equipamento de acoplamento óptico desenvolvido.

Esse desenvolvimento foi feito em parceria pela Balestro e CPQD. A FIGURA 4 (a) mostra o projeto do isolador constituído pelos novos equipamentos, terminação elétrica e óptica do condutor Linnet OPPC; a estrutura do isolador tipo Line Post modificado para óptico e elétrico, caixa de emendas ópticas das fibras alojadas no corpo do isolador, com o prensa-cabos para terminação do cabo elétrico e passagem do cabo óptico convencional que conecta as fibras ópticas até a caixa de emendas e/ou terminações ópticas na torre. A FIGURA 4(b) mostra a vista interna da caixa de

emenda na base inferior do novo isolador óptico e elétrico. A FIGURA 4(c) mostra o orifício com o cabo óptico de interligação no núcleo do isolador sendo preenchido com o material isolante no laboratório. A FIGURA 4 (d) mostra testes elétricos sendo realizados no protótipo em laboratório da empresa Balestro.

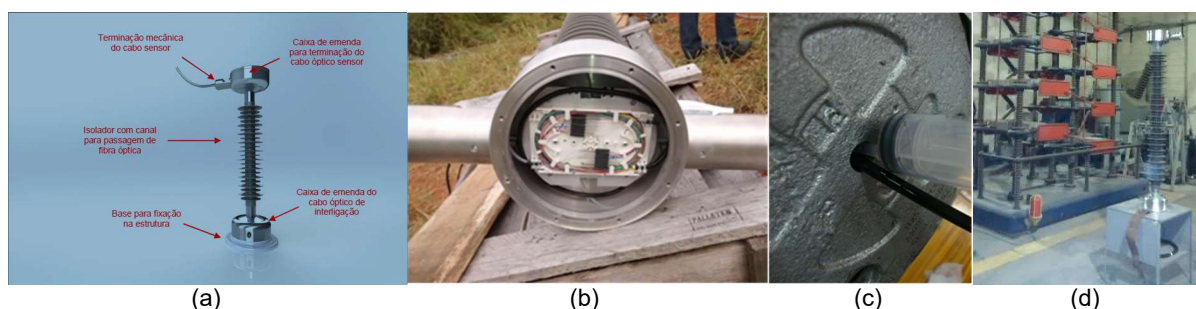


FIGURA 4 - (a) projeto do isolador com cordão de fibras ópticas embutido, (b) caixa de emenda de fibra óptica que faz parte do isolador, (c) processo de passagem e isolamento do cordão óptico no núcleo do isolador e (d) testes de isolamento elétrico em Laboratório da Balestro.

3.0 - APLICAÇÕES PRÁTICAS

Nos últimos 15 anos, a Cemig em parceria com CPQD têm investido em diversos projetos de P&D na área de monitoramento e controle de ativos de T&D, a fim de modernizar esses ativos com uso de tecnologia óptica, como elemento sensor e como elemento de transmissão de dados em fibra óptica (5). A TABELA 1 apresenta as possibilidades de uso do conceito LAS e com sua representação, geométrica e didática, mostrada na FIGURA 5.

TABELA 1– Novas aplicações do conceito LAS como uma infraestrutura compartilhada.

Elemento	Função Primária	Função Secundária
cabo OPGW	Telecomunicações em banda larga (backbone)	IoT e Indústria 4.0
condutores – OPPC		Sensoreamento pontual ou distribuído (tensão, temperatura e vibração)
Isolador óptico e elétrico		Integridade física do condutor (1)
Partes Estruturais: Torres e Fundações	Infraestrutura de rede inteligente intranet ou Internet (redes internas ou externas)	Vídeo Monitoramento Detecção de fumaça e fogo Medição de Ruído Elétrico

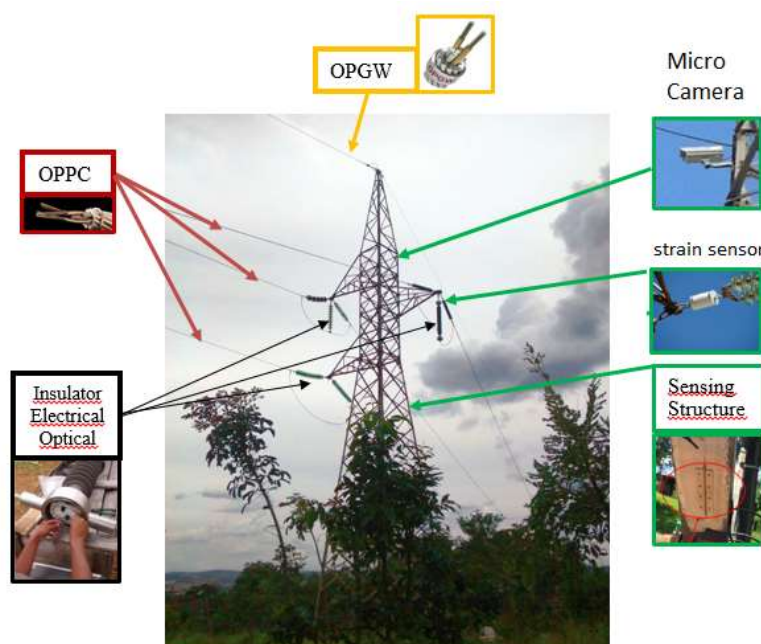


FIGURA 5 - Representação de uma aplicação do conceito LAS com suas funções agregadas.

3.1 - Compartilhamento de dados de monitoramento com outros dados na mesma fibra óptica

Uma tecnologia largamente utilizada em sistemas de transmissão de dados, em banda larga, é a tecnologia Coarse Wavelength Division Multiplexing – CWDM (6). Nesta técnica, diversos sinais ópticos em diferentes comprimentos de onda são conectados em uma única fibra óptica por meio de dispositivos conhecidos como multiplexadores (mux). Alguns desses sinais podem ser removidos ou reinseridos no link de fibra óptica usando dispositivos conhecidos como add-drops ópticos. Assim, para monitorar dados e simultaneamente permitir a transmissão de dados na mesma fibra óptica, entre duas subestações, uma arquitetura de rede mostrada na FIGURA 6, que é uma das diversas topologias de barramento CWDM foi desenvolvido pelo CPQD. Neste caso, dois terminais de transmissão / recepção CWDM são utilizados em cada subestação para multiplexar o sinal de monitoramento e comunicação. O sinal proveniente de qualquer equipamento de transmissão externo com saída óptica genérica é conectado à entrada óptica de um determinado SFP (Small Form-factor Pluggable) (7) usado para aplicações de telecomunicações e comunicação de dados em cabos de fibra óptica na outra extremidade do transceptor SFP do terminal CWDM. O transceptor fornece a adaptação deste sinal no comprimento de onda correto para transmissão no terminal CWDM. Outro terminal CWDM localizado na subestação oposta fornece a entrega desse sinal ao equipamento de transmissão associado. No terminal CWDM, a unidade transmissora tem a função de converter os sinais ópticos de até 8 clientes recebidos em suas entradas em até 8 sinais CWDM padronizados em suas saídas. A conversão é realizada por transceptores SFP. 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 com outros sistemas WDM (8).

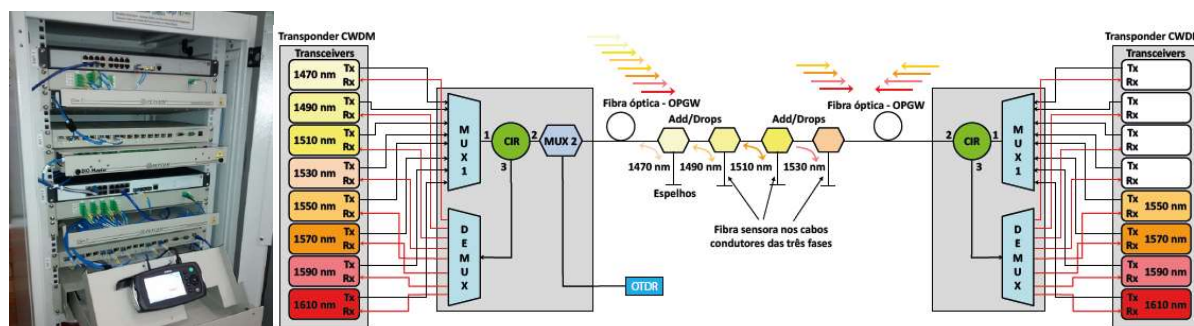


FIGURA 6 - Diagrama de uso do Sistema CWDM para compartilhar canais de sensoramento com a comunicação de canais para dados em banda larga.

3.2 - Sensores de deformação e de vibração usando Grades de Bragg - FGB

A FIGURA 7 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.



FIGURA 7 - Interrogador de sensores Grade Bragg aplicados em uma linha real de 138 kV da Cemig.

3.3 - Medição da Integridade Física de Condutores OPPC

O colapso ou rompimento de condutores, em alta e na média tensão elétrica, pode ter consequências danosas se ocorrer em áreas com algum tipo de uso indevido da faixa dessas redes de energia elétrica. Este é um problema clássico e sem solução plausível no setor elétrico mundial, principalmente em países subdesenvolvidos com grande incidência de invasões irregulares das faixas das LTs. As premissas definidas para o problema da identificação de condutor rompido, em tempo real, são as seguintes: i) o sistema deve ser rápido o suficiente para operar antes do relé de proteção atuar, isto é, evitar o indesejável religamento automático com condutor rompido, e ii) compartilhar na mesma fibra óptica canais de monitoramento para os serviços tradicionais de telecomunicações. O princípio de operação do sistema é baseado na medição da potência refletida dos dispositivos espelhos de fibra instalados nas fibras ópticas dentro da caixa de emendas ópticas. A interrupção da energia da luz refletida causada por qualquer dano nas fibras ópticas embutidas nos cabos OPPC será detectada pelo terminal CWDM. Os receptores dos transceptores detectam esses sinais e os circuitos eletrônicos internos dos transceptores geram um contador em um pacote de rede que define um limite para sua validade TTL (Time To Live) de saída de nível "1" quando esses sinais não estão presentes devido a falha em qualquer parte do link óptico. A FIGURA 8(a) ilustra essa representação de forma simplificada. Cada saída de alarme TTL de cada transceptor, conforme mostra a representação da FIGURA 8(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 íntegro e 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 ativos de LTs em tempo real, ainda não existe outra tecnologia com essa característica específica da tecnologia óptica.

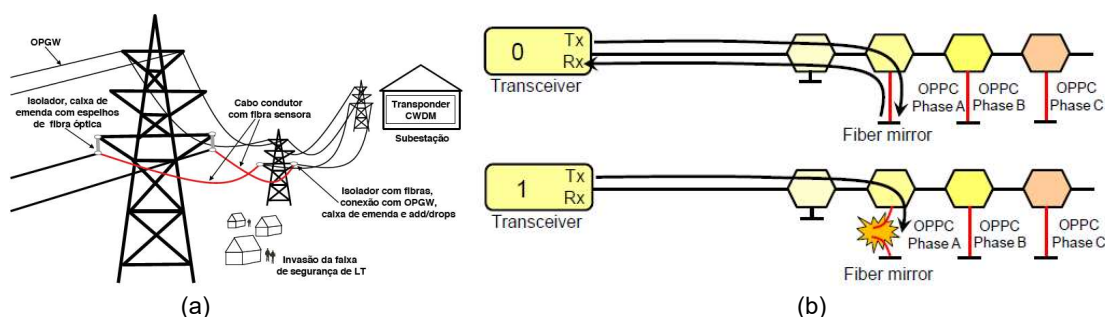


FIGURA 8 - (a) esquema representação da aplicação em campo e (b) receptores dos transceptores detectam os sinais refletidos e os circuitos eletrônicos internos dos transceptores geram uma saída TTL de nível "1", quando esses sinais não estão presentes devido à falha do link óptico dentro condutor OPPC.

3.4 - SOMLAC - Sistema Óptico de Monitoramento de Linhas Aéreas por Câmeras Alimentadas por Fibra Óptica

A motivação principal do desenvolvimento do SOMLAC foi utilizar a fibra óptica como meio de comunicação das imagens e, ao mesmo tempo, como meio de alimentação elétrica da microcamera. Essa aplicação é devida à preocupação das concessionárias de energia elétrica com as constantes invasões em faixas de segurança de linhas de transmissão. Estas invasões ocorrem com o objetivo principal, de construção de moradias em geral de baixo custo [7] ao longo da faixa de segurança das linhas de transmissão. A FIGURA 9 ilustra a concepção simplificada do sistema SOMLAC. Nessas regiões não existe infraestrutura de energia elétrica disponível para excitar uma câmera digital convencional. Esse motivo foi um dos motivadores para o uso da fibra óptica nessa nova função.

A câmera de vídeo é 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) ou ao condutor OPPC, que fazem parte da representação hipotética mostrada na FIGURA 9. Para aumentar a confiabilidade e praticidade do uso desta câmera instalada em um local de difícil acesso a mesma é alimentada opticamente pela fibra óptica usada para a transmissão de vídeo, sendo que a fonte óptica deste sinal de alimentação fica instalada em uma subestação. Na parte do circuito de recepção (Rx) da unidade remota utiliza-se um conversor fotovoltaico (PV) de InP (Fosfeto de Índio) apropriado para uso com fibras ópticas monomodo recebe o sinal óptico de alimentação no comprimento de onda de 1470 nm. Este sistema permite a transmissão de sinais de vídeo por até 10 km de enlace óptico. Nenhuma bateria é utilizada junto à câmera remota. A FIGURA 9 (a) (b) ilustram respectivamente, a concepção óptica e a sua conversão elétrica na câmera remota do sistema SOMLAC.

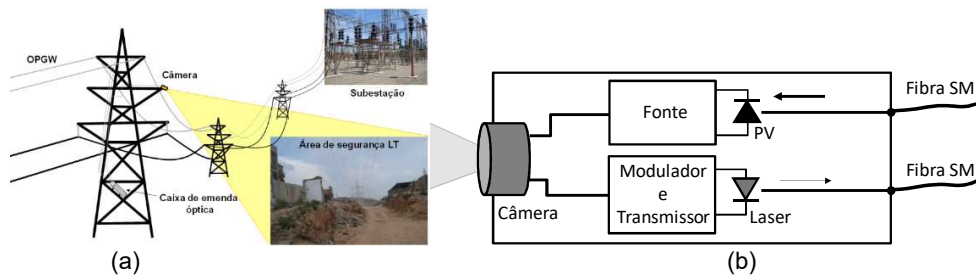


FIGURA 9 - (a) Concepção e (b) circuito eletro/óptico da câmera remota do SOMLAC.

A transmissão de vídeo feita pela microcamera do SOMLAC tem modulação do tipo FM conforme mostra a FIGURA 10(a), por meio de teste real feito em LT de 138 kV da Cemig. Com isso, obtêm-se uma margem de potência de 12 dB (cerca de 50 km de fibra óptica) de variação de potência óptica de transmissão sem prejuízo na qualidade da imagem, conforme mostra a FIGURA 10(b). Dessa forma, o sensor poderia ser instalado em locais com diferentes distâncias sem necessidade de ajuste da intensidade do sinal recebido, devido ao fato da modulação FM retirar o sinal de vídeo NTSC como sub-portadora transmitida pelo laser. Em relação ao consumo de energia elétrica, os circuitos eletrônicos do SOMLAC apresentaram consumo inferior a 0,5 W de potência óptica para sua completa operação de forma a possibilitar o uso da técnica "PoF – Power over Fiber" ou alimentação pela fibra óptica, que foi a inovação atingida nessa aplicação.

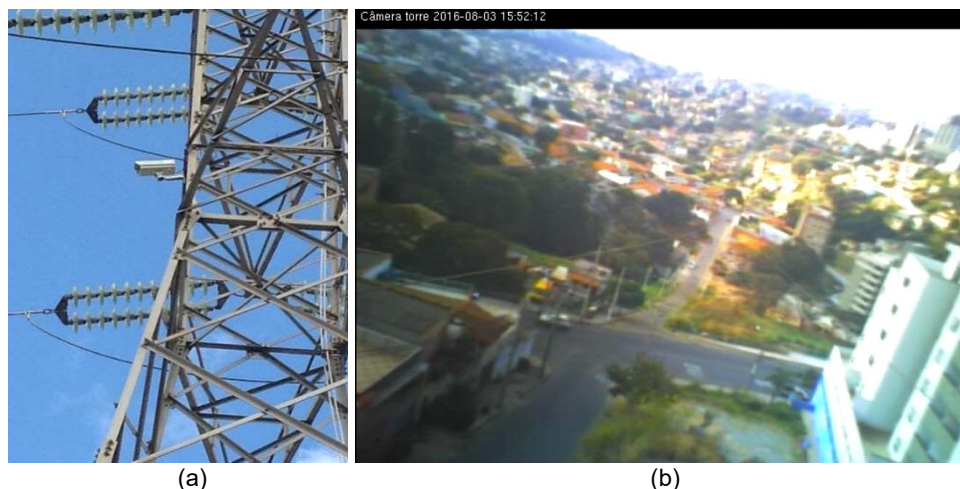


FIGURA 10 - (a) Camera PoF e (b) teste de campo do SOMLAC na LT Bonsucesso – Gutierrez, 138 kV

3.5 - Sistema Óptico de Monitoramento de Esforços Mecânicos em Estruturas de Linhas Aéreas

Para avaliar os esforços resultantes em estais de estruturas de 500kV, a Cemig em parceria com a UFMG desenvolveu uma aplicação piloto como parte de projeto P&D Aneel (11) utilizando tecnologia convencional para isso, isto é, célula de carga elétrica, unidade de aquisição dos dados com comunicação via GPRS e alimentação de energia elétrica dos equipamentos por placas fotovoltaicas, conforme está mostrado na FIGURA 11(a). O objetivo dessa aplicação é mostrar como esse tipo de monitoramento estrutural em LTs poderia ser realizado, de forma mais simples e otimizada, quando se usa a tecnologia óptica. Assim, em tese, um sistema óptico de medição em tempo real com uso da técnica de sensores em “Grades de Bragg” - FGB, operando em rede de sensores ópticos em uma única fibra óptica, por exemplo, poderia ser utilizado para a medição de vários esforços, tais como: nos estais, nas barras das treliças e nas fundações da torre. A instalação dessa rede FGB onde é possível acessar um link óptico do cabo OPGW, permite efetuar o monitoramento do comportamento dessas estruturas nas condições climáticas de campo, sem a necessidade de utilizar painéis solares e meios de comunicação de dados sem fio. Assim, a FIGURA 6 e a FIGURA 7 mostraram, respectivamente, como é possível compartilhar um canal de fibra óptica do OPGW e como seria a aplicação da célula de carga óptica FGB para medição dos esforços na estrutura. A FIGURA 5 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostrou uma representação hipotética de uma aplicação LAS para monitoramento amplo da estrutura de uma LT.



FIGURA 11 - (a) Sistema de aquisição dos dados e painéis de energia solar e (b) Posição da instalação das células de cargas elétricas nos estais na LT.

4.0 - OUTRAS APLICAÇÕES

4.1 - Sistemas de monitoramento distribuído por fibras ópticas

A técnica óptica distribuída de monitoração contínua vem sendo desenvolvida para viabilizar a medição de variações ao longo de grandes extensões de redes, a saber, da ordem de quilômetros (9). 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 estão incorporadas aos condutores OPPC. 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 de transmissão que tenham fibras ópticas disponíveis e/ou compartilhadas, para essa finalidade. Com o Efeito Raman (Sensor de Temperatura Distribuído - DTSS) é possível medir temperaturas distribuídas ao longo da fibra óptica que está em contato físico com a parte metálica dos condutores sinérgicos OPPC. Assim, as informações para uso no cálculo da capacidade de transmissão por meio da variação de temperatura do OPPC 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 LT. A temperatura medida do condutor OPPC, usando o efeito Raman, 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) por meio de sistemas e métodos mais complexos para separar esses dois parâmetros de luz dentro do núcleo das fibras ópticas. A faixa de medição usando o efeito Brillouin 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 no OPPC.

4.2– Desenvolvimentos futuros junto plataforma LAS

A presença de fibras ópticas, juntas aos condutores de energia elétrica, abre outras possibilidades talvez ainda não imaginadas por meio da tecnologia LAS, principalmente em gestão de ativos. Mas para isso é necessário ter o conceito LAS em larga escala industrial como padrão dos novos projetos. Assim, o conceito LAS inovou quando os meios de comunicação e os sensores estão diretamente conectados na alta tensão. Essa concepção, ainda não é trivial. Por exemplo, a LAS se torna um anemômetro à fio quente, onde os dados climatológicos da velocidade e direção do vento, vão a vão da LT, podem ser obtidos de forma indireta pela equação geral de equilíbrio térmico, uma vez que, a corrente elétrica e a temperatura do condutor OPPC são conhecidas ao longo de toda LT. O maior número de fibras ópticas, em cada condutor OPPC, para comunicação de dados pode servir também na inspeção autônoma em LTs por meio de drones e robôs que podem acessar esses canais de dados ao longo das LTs, e ainda oferecer pontos de acesso à rede corporativa para as equipes de O&M em pontos remotos da LT.

5.0 - CRITÉRIOS PARA PROJETO, CONSTRUÇÃO E O&M

As alterações para projeto, construção e O&M no conceito LAS, por incrível que pareça, são simples de serem implementadas. Dois novos equipamentos requeridos, o condutor OPPC e o isolador óptico/elétrico, utilizando os mesmos procedimentos para projeto e com poucas adaptações na forma de construção foram desenvolvidas no teste de campo, na UniverCemig. Para O&M as vantagens da LAS apontam para uma nova forma de gestão de ativos, em tempo real, com diversas possibilidades de aumento da segurança operacional e cibernética, quando a LAS for comparada com outras tecnologias de smargrid.

6.0 - CONCLUSÃO

A utilização de sensores ópticos para o monitoramento de diversas grandezas físicas tem se apresentado como uma tecnologia promissora para diversos setores industriais. No caso do setor elétrico, esses sensores ópticos possuem grandes vantagens em relação aos sensores clássicos pelo fato de ser um dielétrico natural. Essa característica, o torna ideal para instalações em alta tensão e em estruturas de grande extensão, como são as linhas áreas de transmissão. Devido a seu tamanho reduzido permite a construção de sensores compactos e de baixo peso, além de possuir a capacidade de enviar e receber sinais ópticos em grandes distâncias, de forma passiva e sem a necessidade da conversão óptica em elétrica. Ainda reduz o custo e aumenta a flexibilidade na construção de redes de sensores em grandes extensões. Aplicados aos ativos de linhas e redes elétricas, avanços notáveis em sensoriamento óptico estão em pleno desenvolvimento nas últimas duas décadas, com destaque na necessidade de monitoramento ao longo das extensas linhas e redes de energia elétrica, subterrâneas ou aéreas. Nesse contexto, a primeira geração de LAS mostrou que o desenvolvimento do sistema óptico para monitoramento, elétrico e mecânico, desses ativos, concomitante à transmissão de dados em banda larga foi uma ruptura tecnológica atingida, em escala de testes, no Brasil. Isso deu origem a um novo conceito pela associação concomitante de vários dispositivos que desempenham certas funções que contribuem para uma ação coordenada (Smart Grid). Em outras palavras, isso significa a soma dos esforços da empresa para o mesmo propósito (eficiência operacional). No caso específico da LAS, será o uso de forma híbrida do condutor OPPC, que permite inúmeras aplicações de novos sensores pelo uso da infraestrutura de serviços de fibra óptica. Apesar do marco tecnológico LAS obtido no Brasil desde 2014, o seu roadmap preconiza a necessidade de se viabilizar aplicações em escala comercial. Isso requer incentivar a indústria do setor de energia elétrica e as empresas de serviços de banda larga a construírem o conceito LAS por meio de todas equipes de engenharia envolvidas. Desta forma, para novos projetos, em expansão e/ou na reforma, o conceito LAS é uma nova opção de investimento na modernização e digitalização para essas empresas. Por utilizar tecnologias puramente óticas e de modo a explorar, a elevada capacidade de comunicação de dados com baixa latência, sem interferências externas de RF, aumento da segurança cibernética intrínseca as redes cabeadas e fechadas fisicamente e pela possibilidade de compartilhar infraestrutura das fibras ópticas, entre setores distintos, o conceito LAS proporciona uma excelente plataforma tecnológica para o smartgrid e digitalização em curso. Finalmente, quando o sistema a ser monitorado é considerado crítico, como é o caso do setor de energia elétrica, as redes cabeadas em fibras ópticas por meio do conceito e plataforma LAS pode ser a opção mais racional e robusta para expandir os serviços de eletricidade e telecomunicações, em sinergia.

7.0 - AGRADECIMENTOS

Este projeto (Cemig P&D-D520) foi financiado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Agradecimentos pelos investimentos realizados pela Cemig, CPqD, ATC "antiga Cemig Telecom", Centroeste, Furukawa do Brasil, Balestro, Alubar, CIGRE Brasil e UniverCemig pela cooperação amistosa e dedicada a este projeto LAS no Brasil. Os autores gostariam de fazer essa última homenagem ao colega S.Ueda "*in memoriam*" que participou do resumo desde artigo.

8.0 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) 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.

- (2) 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.
- (3) Nascimento, C.; Rosolem, J.; Hortencio, C.; Dini, D.; Obara, L. The First Generation of Synergic Overhead Transmission Lines Network. In Proceedings of the CIGRE-IEC 2019 Conference on EHV and UHV (AC & DC), Hakodate, Hokkaido, Japan, 23–26 April 2019.
- (4) Nascimento, C.; Rosolem, J.; Hortencio, C.; Dini - VIII CITENEL - Costa do Sauípe, BA, de 17 a 19 de agosto de 2015. "Desenvolvimento de Sistema Óptico para Monitoração de Vãos Críticos e Transmissão de Dados de Telecom em LTs";
- (5) XXIV SNPTEE; Grupo 15 -GTL. "Concepção, Desenvolvimento e Teste de Campo de Sistema Óptico CWDM como Plataforma de Monitoração de Ativos e de Comunicação de Dados em Banda Larga para Redes Smart Grids"; Curitiba-PR; de 22 a 25 de outubro de 2017;
- (6) "CWDM Technology, Standards, Economics & Applications". Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.195.9690&rep=rep1&type=pdf> "NGCP: Informal settlers hamper transmission line projects". Available at: <https://www.rappler.com/business/industries/173-power-and-energy/101137-ngcp-informal-settlers-transmission-lines>
- (7) SFF Committee, "INF-8074i Specification for SFP (Small Form factor Pluggable) Transceiver", Rev 1.0, May, 2001.
- (8) "Wavelength multiplexing (WMD) for electricity utilities", CIGRE Publication Ref. TB 131, 2011.
- (9) "Distributed Temperature Sensing: Review of Technology and Applications," in IEEE Sensors Journal, vol. 12, no. 5, pp. 885-892, May 2012.
- (10) Rosolem, J. B.; Bassan, F. R.; Pereira, F. R.; Penze, R. S.; Leonardi, A. A.; Nascimento, C. A. M. "Fiber powered sensing system for a long reach single mode fiber link and non-continuous applications". Proceedings of the SPIE, Volume 9157, id. 9157AE 4 pp. (2014). DOI: 10.1117/12.2058672.
- (11) C.A.M. do Nascimento, S.L.S. Pinto – CEMIG e R.M.Valle, M.A. Martins, J.A. de Abreu e W.F. Chagas - UFMG Projeto P&D Aneel Cemig e UFMG – D0063 - Introdução do estudo da camada limite atmosférica em projetos de linhas aéreas de transmissão

DADOS BIOGRÁFICOS



(1) CARLOS A.M. NASCIMENTO - 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 patentes, marcas e softwares no INPI.

(2) 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.

(3) 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.

(4) JOÃO BATISTA ROSOLEM. João Batista Rosolem, concluiu o doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo em 2005. Atualmente é pesquisador do CPQD. É líder técnico do laboratório LSMO (Laboratório de Sensoriamento e Monitoração Óptica) do CPQD. Suas áreas de atuação em sensoriamento são: dispositivos de fibras ópticas, sensores de fibra óptica, sensores para sistemas de energia Elétrica. Desde 2020 coordena o grupo de trabalho Low Power Instrument Transformers (LPIT) do CIGRE Brasil. É bolsista de Produtividade e Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora do CNPq - Nível 1D. Em 2021 foi nomeado como Embaixador do CPQD.

(5) ANA CLÁUDIA BALESTRO. Ana C. Balestro nasceu em 1969 em Mogi Mirim, SP. Formada em Engenharia Elétrica, trabalha desde 1991 na Indústria Eletromecânica Balestro, nos departamentos de engenharia e P&D. Ao

longo de sua carreira esteve envolvida em projetos e desenvolvimento de isoladores, ensaios e aplicações. Ela é atualmente membro do Cigré e membro da comissão técnica 36 do Cobei desde 2006.

(6) ANTÔNIO ERIVALDO DE ASSIS. Antônio Erivaldo de Assis, nasceu em 1984 em Resende Costa, MG. Formado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC-MG no ano de 2013, trabalhou fevereiro de 2002 a agosto de 2020 como eletricitista/técnico em manutenção e construção de Linhas de Distribuição na Cemig Distribuição. Desde setembro de 2020 atua como Engenheiro de planejamento da manutenção elétrica da Transmissão, na Cemig Geração e Transmissão.

(7) LUIZ SIGUENOBU OBARA. Luiz Siguenobu Obara, Engenheiro Eletricista pela Universidade de São Paulo-USP em 1982. Ingressou na Furukawa Electric LatAm em 1983 e atualmente atua com consultor técnico na Engenharia de Produtos para Energia e IoT.

(8) ADRIANO APARECIDO DELLALLIBERA. Adriano A. Dellallibera nasceu em 1963 em São Paulo, SP. Formado em Eletrotécnica, trabalha desde 1985 na Indústria Eletromecânica Balestro, nos departamentos de engenharia e no laboratório de alta tensão. Ao longo de sua carreira esteve envolvido com design de equipamentos, ensaios de alta tensão e casos de aplicação de para-raios e isoladores. Atualmente trabalha focado em novas tecnologias e engenharia de aplicação. Ele é atualmente coordenador da comissão de Estudos de Para-raios da ABNT, membro do Cigré desde 2001 e membro brasileiro na TC 37 (Surge Arresters) da IEC.

(9) MAURISSONE FERREIRA GUIMRÃES. Graduado em Engenharia Elétrica pela UFMG(2001). Mestre em Engenharia Elétrica pelo PPGE - UFMG (2003). Possui MBA em Gerenciamento de Projetos pela FGV (2014). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência. Desde 2002, trabalha como engenheiro na CEMIG, onde atua em atividades na área de engenharia, projetos, estudos técnicos e econômicos para linhas de transmissão e subestações. Desde 2009, trabalha como engenheiro de tecnologia e normalização, destacando a atuação em engenharia aplicada e no gerenciamento de projetos de pesquisa, inovação e desenvolvimento de produtos tecnológicos para o setor elétrico. CV Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1480531919345207>.

(10) WESLEY EDNEY DE SOUSA Wesley Edney de Sousa, Engenheiro Eletricista pela PUC-MG - 2002. Especialização em Gestão pela FDC - 2010, Mestre em Engenharia Elétrica pela UFMG - 2017. Trabalha na CEMIG Companhia Energética de Minas Gerais desde 1992, atuando nas áreas de engenharia, projeto e manutenção de linhas de distribuição e transmissão. Participação em projetos de pesquisa e desenvolvimento P&D, estudos de viabilidade técnica, projetos e especificação de cabos condutores especiais aplicados à linhas de distribuição e transmissão. Atualmente trabalha na gerência de expansão e manutenção de linhas e subestações da Cemig D e coordena a equipe de Serviços Especiais de Linhas de Distribuição.

(11) THADEU ANTONIO FURTADO B.Sc. (1973) graduação em Engenharia Elétrica, Especialização em Sistemas de Potência (1981) pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, Brasil. • Desenvolvimento de estudos e pesquisas sobre o desempenho de componentes de Linhas de Transmissão Aérea vibrações principalmente cabos e ferragens. • Participação como consultor em projetos de P&D de concessionárias brasileiras e do desenvolvimento do Módulo de Acesso dos Processos de Distribuição da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Participação no CIGRE (Internacional e Comitê Nacional), em Grupos de Trabalho para estudo do comportamento de cabos e ferragens.

(12) CLAUDIO ANTONIO HORTENCIO. Mestrando pela FT Unicamp - Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, graduado em Tecnologia em Eletrônica Industrial pela UNISAL. Pesquisador de Telecomunicações com atuação no desenvolvimento de tecnologias para a planta óptica de telecomunicações e sensores ópticos. Trabalhou na Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento - CPqD de 1984 até 2020. Atuou no desenvolvimento de dispositivos e acessórios para a rede externa de telecomunicações. Desenvolveu trabalhos de pesquisa e coordenação de projetos na área de sensores ópticos à fibra para o setor de energia. Atualmente atua como consultor independente em infraestrutura de redes ópticas.

(13) SIDNEI MASSAMI UEDA. Possuía graduação em Administração de Empresas pela Faculdade de Administração Ciências Econ. E Contábeis de Guaratinguetá (1986) e graduação em Engenharia Eletrotécnica pela Universidade Estadual de Campinas (1981). Profissional do setor de Linhas de Transmissão por meio da sua atuação nas indústrias Furukawa, Nexans e Alubar, atuando na engenharia de condutores. Até 2021 doutorando da USP “*in memoriam*”.