



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

FI/GLT/23  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO - III**

**GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT**

**Desenvolvimento de Sistema Óptico de Monitoramento de Linhas de Transmissão Aéreas através de Câmeras Alimentadas por Fibra Óptica (SOMLAC)**

**Rivael Strobel Penze<sup>(\*)</sup><sup>(1)</sup> Fabio Renato Bassan<sup>(1)</sup> João Batista Rosolem<sup>(1)</sup> Ariovaldo A. Leonardi<sup>(1)</sup> Claudio Floridia<sup>(1)</sup> Fernando Rocha Pereira<sup>(1)</sup> João Paulo Vicentini Fracarolli<sup>(1)</sup> Carlos Alexandre M. Nascimento<sup>(2)</sup>**  
**CPqD (1) CEMIG D (2)**

**RESUMO**

As faixas de segurança de linhas de transmissão (LT's) possuem restrições quanto a sua utilização. Ocupações irregulares e as constantes invasões são um problema que a CEMIG tem enfrentado nos últimos anos, cabendo processos judiciais para demolição de obras edificadas nestas áreas. Além disso, a possibilidade de ocorrência de um evento de rompimento de cabos preocupa fortemente a CEMIG devido ao risco de graves acidentes causado por esse tipo de evento.

O SOMLAC desenvolvido pelo CPqD em parceria com a CEMIG-D, é fruto dos resultados dos investimentos em programas de pesquisa promovidos pela ANEEL.

**PALAVRAS-CHAVE**

Fibra óptica, Power Over Fiber, Monitoramento, Faixas de Segurança, Vãos críticos.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O ambiente de alta tensão das subestações e das linhas de transmissão afeta substancialmente o tempo de vida de sensores eletrônicos, bem como, a transmissão de seus sinais. Sabe-se também que a não existência dessa isolamento pode acarretar danos aos sensores devido a induções de tensão como picos de tensão devido a descargas atmosféricas e transientes da alta tensão (1).

A fibra óptica devido às suas características intrínsecas, tais como, imunidade eletromagnética, alta isolamento galvânica, elevada largura de banda e baixa perda de transmissão, apresenta-se como excelente opção para sistemas de sensoriamento em redes de energia elétrica (2). Uma característica ainda pouco difundida e explorada da fibra óptica é a transmissão de energia na forma de luz que, onde, após conversão óptico-elétrica pode ser utilizada na alimentação de sensores ou circuitos de telecomando com tecnologia eletrônica (3). Esta técnica é conhecida como PoF (Power over Fiber).

A aplicação da técnica PoF em sistemas de alta tensão garante a confiabilidade e a robustez dos sensores e do sistema de sensoriamento para os elementos ativos do setor elétrico. O grande diferencial do uso desta técnica deve-se a confiabilidade devido à alta largura de banda, baixa perda, imunidade a interferências eletromagnéticas e praticidade, pois é usada apenas uma fibra tanto para a transmissão de energia quanto para o tráfego de vídeo.

A utilização de sistemas de supervisão pode contribuir para a mitigação dos riscos em vão críticos, oriundos da invasão das áreas sob as linhas de transmissão, além disso, o sistema permite a monitoração de áreas de difícil

(\*) Rua Floriano Fernandes Lopes, n° 10 – apto 23 – Bloco A – CEP 13.077-075 Campinas, SP, – Brasil  
Tel: (+55 19) 3705-7098 Email: rpenze@cpqd.com.br

acesso, tais como as faixas de segurança. O Sistema Óptico de Monitoração de Linhas Aéreas por Câmeras alimentadas por fibra óptica utiliza apenas uma fibra óptica de um cabo OPGW (Optical Ground Wire) tanto para a alimentação da câmera quanto para a transmissão de vídeo.

No intuito de explorar as características da fibra óptica foi proposto dentro do projeto de P&D da CEMIG (4), um sistema de vídeo monitoramento usando fibra óptica para alimentação e tráfego de vídeo. Este sistema foi proposto para aplicações de monitoramento de vão críticos (áreas de difícil acesso e invasão da faixa de servidão). Neste trabalho apresentamos os resultados do desenvolvimento, dos testes de laboratório e de campo do sistema, que estão sendo realizados em uma linha de transmissão de 138 kV conectada a subestação de Bonsucesso em Belo Horizonte, MG.

## 2.0 - MONITORAMENTO DE FAIXAS DE SEGURANÇA

As faixas de segurança devem ser respeitadas principalmente por existir um campo eletromagnético, perigoso e extenso. A invasão acarreta riscos à vida e à saúde de quem vive próximo, compromete o funcionamento de aparelhos elétricos, como os eletrodomésticos, e inviabiliza o acesso necessário de técnicos nas áreas para as manutenções e reparos nas redes do sistema elétrico (5).

A ocupação irregular e invasão das faixas de segurança são problemas que a CEMIG tem enfrentado nos últimos anos. Até o momento não ocorreu nenhum evento de rompimento de cabos nessas faixas irregularmente invadidas, entretanto, a possibilidade disto ocorrer preocupa fortemente a CEMIG, pois uma queda de cabo condutor de uma LT numa área ocupada por construções pode causar acidentes gravíssimos. O sistema de proteção pode não atuar adequadamente ou ainda em função do religamento automático as consequências poderão ser catastróficas.

Tendo em vista os problemas que podem ocorrer devido a invasão das faixas de segurança oriundas da construção de habitações, principalmente nas áreas próximas aos grandes centros urbanos o SOMLAC foi desenvolvido como uma forma de monitoramento remoto dessas áreas.

## 3.0 - PROPOSTA DE MONITORAMENTO DE VÃOS CRÍTICOS UTILIZANDO A CÂMERA ALIMENTADA POR FIBRA ÓPTICA

Devido as características intrínsecas da fibra óptica como alta isolamento galvânica e imunidade a interferências eletromagnéticas, sistemas baseados em Power over Fiber (PoF) têm sido propostos para diversas aplicações que envolvem monitoração em lugares perigosos como em subestações e linhas de transmissão (1), (2). O uso dessa técnica aplicada a monitoramento de vãos críticos utilizando SOMLAC é uma proposta original e inovadora.

O SOMLAC necessita apenas na unidade remota de uma câmera de baixo consumo e de uma fibra óptica. Na maioria das vezes essa fibra óptica está disponível nos cabos OPGW que compõem a linha de transmissão tornando a sua instalação muito simples quando comparada aos sistemas tradicionais de monitoração.

Os sistemas tradicionais de monitoração utilizam, na maioria das vezes, baterias e painéis solares e toda uma infraestrutura própria e algumas vezes complexa para acomodação dos elementos de monitoração (6), desta forma acabam ficando susceptíveis a atos de vandalismo e roubo. Esses sistemas utilizam também as redes de dados da telefonia móvel, tais como, as tecnologias CDMA, GSM, GPRS e 3G, para realizarem a sua transmissão de dados, entretanto, essas tecnologias de transmissão de dados estão limitadas e restritas aos grandes centros, não provendo confiabilidade e eficiência, e nas regiões sem cobertura, a solução adotada acaba sendo de sistema de comunicação via rádio ou equipamentos com armazenamento local de dados.

As transmissões via rádio apresentam um custo adicional ao equipamento, tendo ainda a questão de licença de operação para determinadas faixas do espectro. Já os sistemas que armazenam as informações de forma local disponibilizam as informações via bluetooth, por exemplo, muitas vezes necessitam do deslocamento de profissionais até um determinado ponto para coletar os dados via computadores portáteis (6).

Já o SOMLAC que utiliza as fibras ópticas disponíveis ou compartilhadas do próprio cabo OPGW, possibilita ao operador realizar inspeções visuais a qualquer momento, podendo assim monitorar áreas remotas e de difícil acesso sem a necessidade de inspeção visual local, aumentando a eficiência operacional. Além disso, com o monitoramento dessas áreas pode-se evitar acidentes devido ao religamento do sistema em caso de rompimento ou queda de cabo da linha de transmissão, principalmente em áreas de invasão.

### 3.1 O sistema SOMLAC

O SOMLAC é constituído de duas unidades, uma situada na subestação (Unidade de Controle - UC) e a outra fixada na torre de transmissão (Unidade Remota - UR). A UC é composta de um Laser PoF usado para fornecer a potência óptica destinada a alimentação, um bloco receptor responsável pela conversão opto-elétrica e demodulação do sinal de vídeo e um Mux / Demux para fazer a multiplexação e demultiplexação dos comprimentos de onda de alimentação e vídeo.

A Unidade Remota também possui um Mux / Demux, além de um conversor opto-elétrico que prove a alimentação do circuito eletrônico, uma câmera de baixa potência e um bloco de transmissão para modulação e transmissão óptica do sinal de vídeo. A UR também conta com um microcontrolador (MCU) responsável por receber comandos vindos da unidade de controle e um conjunto de supercapacitores que são usados para armazenar energia e permitir a operação do circuito.

As unidades são conectadas através de uma única fibra óptica monomodo presente no cabo OPGW, a distância entre as unidades é de 1,148 km. A Figura 1 mostra o diagrama de blocos do SOMLAC.

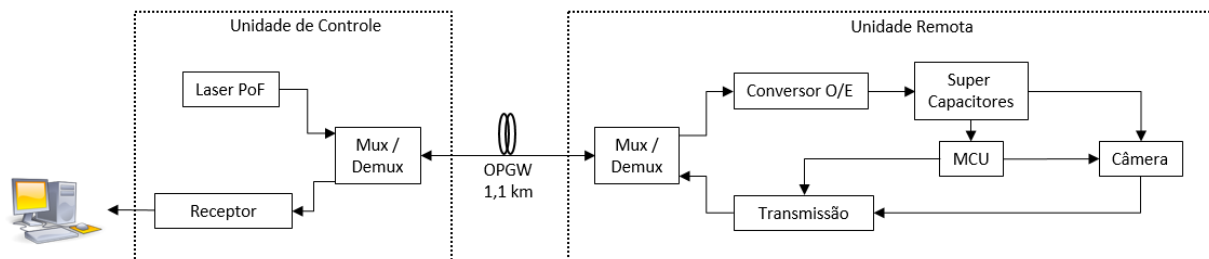


FIGURA 1 – Diagrama de Blocos SOMLAC

Para aumentar a confiabilidade e praticidade do sistema a unidade remota é alimentada pela mesma fibra usada para a transmissão de vídeo, não sendo necessário o uso de painel solar, baterias e link de rádio que são suscetíveis a vandalismo e furto.

A transmissão de vídeo da câmera do SOMLAC é feita aplicando modulação do tipo FM (Frequency Modulation) ao sinal de vídeo. 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. Dessa forma, o sensor poderia ser instalado em locais com diferentes distâncias sem necessidade de ajuste da intensidade do sinal recebido.

Em relação ao consumo de potência, a UR do SOMLAC apresentou consumo de cerca de 0,4 W de potência elétrica, com esse consumo a operação da câmera de forma contínua não foi possível. Dessa forma foi necessário implementar um conjunto de supercapacitores para fazer o armazenamento de energia e assim permitir a operação do equipamento. O uso de supercapacitores também permite que a distância entre a unidade de controle e a unidade remota seja aumentada uma vez que a energia vinda da conversão opto-elétrica seria armazenada e estaria disponível quando necessário, permitindo assim o monitoramento de vãos críticos de difícil acesso.

### 3.2 Instalação em campo

A instalação do SOMLAC ocorreu em outubro de 2013 na subestação Bonsucesso em Belo Horizonte, Minas Gerais. A Figura 2 apresenta o diagrama de instalação do SOMLAC, em 2(a) é simbolizado a torre de transmissão com o OPGW vindo da subestação pelas torres de alta tensão, uma imagem do vídeo monitoramento é mostrada logo abaixo da torre de transmissão mostrando área monitorada pelo sistema. Na Figura 2(b) é mostrada a torre com a câmera instalada.

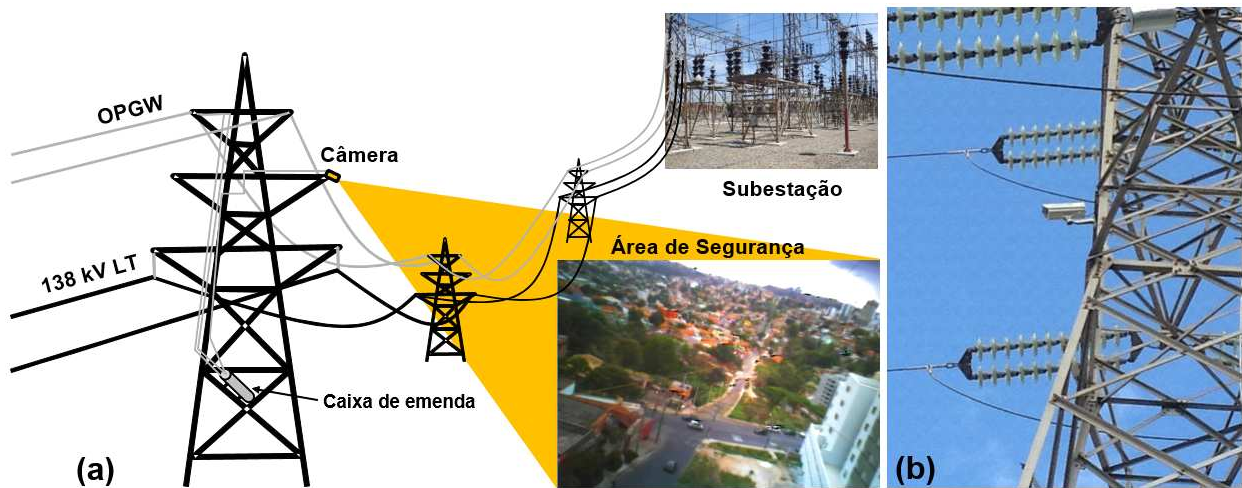


FIGURA 2 – (a) Componentes do SOMLAC e (b) detalhe de instalação da câmera na torre

A distância entre as unidades de controle e remota é de aproximadamente 1,15 km conforme pode ser visualizado na Figura 3.



FIGURA 3 – SOMLAC instalado a mais de 1,1 km da subestação de Bonsucesso em BH

A unidade de controle foi instalada na sala de controle da subestação e a unidade remota (Câmera) foi fixada em uma torre de transmissão de 138 kV no intuito de monitorar a área sob a linha de transmissão. As unidades do



SOMLAC foram conectadas através de uma fibra óptica monomodo presente no OPGW, sendo essa responsável pela alimentação e transmissão de vídeo.

### 2.3 RESULTADOS

A distância entre as unidades do sistema na instalação foi de 1,148 km, entretanto durante os testes laboratoriais a distância alcançada chegou a 4,4 km. Devido a característica intrínseca da fibra óptica de baixa perda na transmissão, ao armazenamento de energia da unidade remota e a modulação do vídeo, o alcance do SOMLAC pode ser ainda maior.

A câmera alimentada por fibra foi instalada a aproximadamente 17 meses (até o momento da confecção desse informe técnico). Durante esse período o sistema apresentou bom funcionamento e não sofreu nenhum dano com descargas atmosféricas, variações de temperatura, precipitações, além disso, mostrou-se imune as interferências eletromagnéticas presentes devida a alta tensão da linha de transmissão.

A Figura 4 mostra as imagens de monitoramento da câmera do SOMLAC na data de instalação (outubro/2013) e após 15 meses de funcionamento (janeiro/2015)



FIGURA 4 – Imagens do SOMLAC (a) outubro 2013 (b) Janeiro 2015.

### 2.4 Benefícios do projeto

Entre os benefícios da tecnologia desenvolvida, pode-se destacar a facilidade de integração com outros sistemas de monitoramento da CEMIG, devido ao fato de seguir padrões de comunicação de mercado.

A tecnologia desenvolvida também permite acoplar sensores eletrônicos convencionais para o monitoramento de parâmetros da rede de energia elétrica, além de sensores para monitoração de questões relacionados a segurança, como por exemplo sensores de proximidade, presença entre outros.

Quanto aos benefícios do projeto para a concessionária podemos citar o aumento da confiabilidade do sistema de religamento de linhas de transmissão, pois o operador poderá visualizar em tempo real algum problema que impeça o religamento. Outro benefício está no aumento da segurança operacional das linhas de transmissão, evitando que o religamento da linha seja realizado em casos de rompimento ou queda de cabos da linha de transmissão. Além disso o sistema pode proporcionar maior rapidez na identificação de falhas diminuindo o tempo de resposta e trazendo eficiência operacional a concessionária. Por último, devido a eliminação de baterias e painéis solares o sistema requer pouca manutenção e diminui a incidência de roubos desses elementos.

Como benefício a sociedade, o desenvolvimento do sistema permite proporcionar maior segurança as pessoas que habitam ou transitam entre vãos de linhas de transmissão. Já em termos de pesquisa, a técnica utilizada no nesse sistema posiciona a CEMIG e ao CPqD desenvolver tecnologia nacional para o monitoramento de ativos do setor elétrico e fortalecer o desenvolvimento de pesquisa no país.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

A câmera alimentada por fibra óptica mostrou-se como uma excelente solução para monitoração de vão críticos, áreas de invasão, segurança patrimonial entre outras aplicações. O uso dessa tecnologia em vãos críticos permite a monitoração dessas áreas em tempo real, e assim antecipar ações visando à manutenção nas áreas de difícil acesso, bem como, coibindo a ocupação irregular, principalmente nos locais próximos às torres e abaixo da LT. O uso de câmera alimentada por fibra em áreas com ocorrência de vandalismo e roubos de painéis solares e baterias é uma solução para inibir tais ocorrências, além disso, as câmeras utilizadas na solução são de baixo custo.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Ayindrila, R., Jitendranath B., Gautam S., Wireless sensing of substation parameters for remote monitoring and analysis. Ain Shams Engineering Journal, Índia, 2014.
- (2) Floridia, C., Rosolem J. B., Leonardi, A. A., Hortencio, C. A., Fonseca, R. R., Moreira R. O. C., Souza, G. C. L., Melo, A. L., Nascimento, C. A. M., Temperature sensing in high voltage transmission lines using fiber Bragg grating and free-space-optics. Fiber Optic Sensors and Applications X, USA, 2013.
- (3) Photonic Power Solution for Communication Deployments, JDSU Application Note, USA, 2006.
- (4) P&D\_Aneel\_CEMIG\_D446—"DE - Desenvolvimento de sistema óptico de monitoramento, transmissão e recepção de dados para comando, controle e supervisão de equipamentos na alta tensão imune às interferências eletromagnéticas".
- (5) Siqueira, U.C., Metodologia para monitoramento das faixas de segurança de Linhas de Transmissão e Subtransmissão, UFMG, 2003.
- (6) Nascimento, C.A.M.; Vasconcelos, J.A.; Valle, R. M.; Guimarães, A. H. O.; Terra, G. S.; Filardi Filho, B. A. — "Localização de Vãos Críticos em Projeto de Linhas Aéreas por Meio do Estudo da Camada Limite da Atmosfera". XXI SNPTEE, 2011, Florianópolis. Anais do XXI SNPTEE, 2011. v. 1. p. 1-6.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Rivael Strobel Penze nasceu em Bandeirantes, MS em 1973. M.Sc. pela Universidade de Campinas Unicamp, Campinas, SP (2002), Desde 2002 atua em Pesquisa e Desenvolvimento no CPqD, Campinas, SP onde está envolvido no desenvolvimento de redes de acesso, sensores a fibra óptica e sistemas de informação geográfica (GIS).

e-mail: rpenze@cpqd.com.br

Ariovaldo Antonio Leonardi nasceu em Campinas, SP, em 1963. Formado em Tecnologia em Eletrônica Industrial pela Unisal (2001), Campinas, SP. Desde 2010, atua como pesquisador no CPqD, Campinas, SP. Está envolvido em testes de sistemas de sensoriamento óptico como FBG, DTS e PoF.

e-mail: aantonio@cpqd.com.br

Carlos Alexandre Meireles Nascimento nasceu em Conselheiro Lafaiete, MG em 1968. Ph.D em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 2009. Atualmente é Engenheiro de P&D na Cemig Distribuição, Belo Horizonte, MG. Desenvolve trabalhos usando monitoramento em tempo real em conjunto com análise matemática, estatística e otimização de algoritmos para aprimorar investimentos em redes de distribuição.

e-mail: caxandre@cemig.com.br

Claudio Floridia nasceu em Ancona, Itália em 1971. Ph.D em Física pela Universidade Federal de Pernambuco em 2003. Desde 2005 atua como pesquisador no CPqD, Campinas, SP. Desenvolve trabalhos relacionados a fenômenos de polarização, sensores a fibra óptica como, por exemplo, FBG, sensoriamento distribuído usando efeito Brillouin, sensor de corrente elétrica usando fibra óptica, entre outros. Dr. Floridia é autor de mais de 60 artigos científicos publicados em periódicos e conferências.

e-mail: floridia@cpqd.com.br

Fabio Renato Bassan nasceu em Americana, SP em 1985. Formado em Engenharia Elétrica pela Unisal (2010), Americana, SP. Desde 2010 atua em Pesquisa e Desenvolvimento no CPqD, Campinas, SP. Atualmente está envolvido no desenvolvimento de sensores distribuídos a fibra óptica (DTS) e Power over Fiber (PoF).

e-mail: fbassan@cpqd.com.br

Fernando Rocha Pereira nasceu em Jundiaí, SP em 1982. Formado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Campinas Unicamp (2009). Desde 2009 atua em Pesquisa e Desenvolvimento no CPqD, Campinas, SP onde está envolvido em projetos de pesquisa e desenvolvimento relacionados com comunicações ópticas, sensores a fibra óptica e criptografia.

e-mail: rochaf@cpqd.com.br

João Batista Rosolem nasceu em Fartura, SP em 1963. Ph.D em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo, São Carlos, SP (2005). Desde 2009 atua em Pesquisa e Desenvolvimento no CPqD, Campinas, SP onde está envolvido no desenvolvimento de sensores a fibra óptica como por exemplo FBG, DTS e PoF. Dr. Rosolem é autor de mais de 150 artigos científicos publicados em periódicos e conferências.

e-mail: rosolem@cpqd.com.br

João Paulo Vicentini Fracarolli nasceu em Itápolis, SP em 1989. Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica pela Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, 2013. Atualmente trabalha com pesquisa e desenvolvimento na Fundação CPqD, Campinas, SP, atuando na área de sensoriamento óptico (FBG, técnicas de Power over Fiber - PoF, sensores distribuídos e óptica de espaço livre (FSO)).

e-mail: jpaulo@cpqd.com.br