



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

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO -VI

Grupo de Estudo de Comercialização, Economia e Regulação de Energia Elétrica - GCR

APLICAÇÕES REAIS E O FUTURO DA TECNOLOGIA ÓPTICA NA CONSTRUÇÃO SMARTGRID NA ALTA TENSÃO

Do NASCIMENTO, C.A.M. (*) e GUIMARÃES, M.F. – Cemig Distribuição S.A.

COSTA, E.F.D. e HORTENCIO, C.A. - CPqD

RESUMO

Esse trabalho demonstra o desenvolvimento de sensores para tecnologia de Redes Inteligentes (smart grids) por meio de fibras ópticas. Esses sensores possuem grandes vantagens em relação aos sensores clássicos pelo fato de ser um dielétrico natural, o que a torna ideal para instalações em alta tensão. 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, sem a necessidade da conversão óptica em elétrica e ainda reduzir os custos e aumentar a flexibilidade na construção de redes de sensores.

PALAVRAS-CHAVE

Redes Inteligentes, Smart Grids, Monitoramento de Linhas Aéreas, Sensores Ópticos, Grade de Bragg, Sistema de Supervisão e Fibra Óptica.

1.0 - INTRODUÇÃO

Acompanhando a rápida evolução tecnológica, que os meios de comunicação e meios de TI sofreram nos últimos anos, isto é, comunicação via satélite, rede celular, rede corporativa e a WEB, a tecnologia de monitoramento de equipamentos do setor elétrico na alta tensão está sendo adaptada para trabalhar nessas plataformas alternativas e otimizadas de comunicação de dados para tornar a sua aplicação comercial sustentável em relação ao valor agregado do investimento e ao custo operacional associado dos equipamentos de sensoreamento e de comunicação, mas mesmo assim, com todas essas novas tecnologias disponibilizadas, ainda não foi possível a expansão desses sistemas de monitoramento de equipamentos do setor elétrico na alta tensão no Brasil devido ao elevado custo de aquisição da tecnologia importada e do custo de operação para comunicação dos meios disponíveis. Esses fatores estão inibindo a aplicação do conceito smartgrid na alta tensão da Cemig.

A evolução da tecnologia de sensores ópticos vem ocorrendo desde a década de 90, quando os sensores em grade de Bragg foram comercializados para sensoreamento generalizado, surgindo então vários estudos, novos projetos e, recentemente, projetos de P&D. Nesse contexto, a tecnologia de Sensores à Fibra Óptica está sendo direcionada pelo grande avanço no desenvolvimento de componentes ópticos para telecomunicações e a subsequente produção em massa destes dispositivos. A possibilidade de substituição dos sensores tradicionais por sensores à fibra óptica tem obtido grandes avanços tecnológicos em função da rápida queda do preço destes componentes e o aumento na qualidade atingida pelos sensores ópticos.

Os sensores à fibra óptica possuem grandes vantagens em relação aos sensores clássicos pelo fato da fibra óptica ser um dielétrico natural, o que a torna ideal para instalações em alta tensão. Devido a seu tamanho a fibra óptica permite a construção de sensores bem compactos e de baixo peso, além de possuir a capacidade de

enviar/receber sinais ópticos em grandes distâncias permitindo a construção de redes de sensores, sem a necessidade da conversão óptica/elétrica em cada ponto de sensoriamento, possibilitando a redução de custos e aumentando a flexibilidade do sistema.

Atualmente há uma crescente aplicação dos sensores à fibra óptica na engenharia de monitoração. Tecnologias de medição e configuração de sistemas que não eram possíveis com tecnologias convencionais tornaram-se possíveis usando a tecnologia de sensores a fibra. As fibras ópticas ganharam espaço nesta área por apresentarem propriedades de interesse quanto à imunidade à interferência eletromagnética, baixo peso, dimensões pequenas e possibilitarem um sensoriamento remoto vencendo dezenas de quilômetros.

Para a evolução e efetiva implantação da tecnologia smart grid no Brasil faz-se necessária a disponibilização de uma vasta oferta de dispositivos sensores, sistemas de sensoriamento e monitoramento em tempo real para as mais variadas grandezas e parâmetros e que apresentem grande confiabilidade e preços razoáveis para suas aplicações. Neste contexto a evolução dos sensores ópticos a fibra permitem o desenvolvimento de uma grande quantidade de aplicações para o sistema elétrico tendo em vista as vantagens que propiciam (1): imunidade das fibras ópticas frente às interferências eletromagnéticas; capacidade de multiplexação de sinais de vários sensores em uma única fibra; compactação e uso de espaços reduzidos; possibilidade de medidas não invasivas, além do baixo custo proporcionado pela escolha de elementos adequados para a monitoração.

Dentre os vários projetos em sistemas ópticos de monitoramento, já desenvolvidos e em curso, destacam-se: sensores para descargas parciais nos estatores de hidrogerador (2), o desbalanceamento do eixo do hidrogerador por sensor óptico de proximidade (3), temperatura e deformação do rotor (3), descargas parciais (3) (2), tensão mecânica, força e temperatura (4), tensão elétrica (5) (6), corrente e vibração de cabos condutores de linhas de transmissão (7), dentre outros.

2.0 - TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO

Nos projetos desenvolvidos foram utilizadas várias técnicas para o sensoriamento óptico, tais como: as técnicas interferométricas, o sensoriamento óptico continuamente distribuído (como por exemplo, os sistemas DTS - Distributed Temperature Sensing), as grades de Bragg em fibra - FBG (Fiber Bragg Grating), a técnica fiber powering (utiliza alimentação óptica e sensores convencionais), acoplamento óptico entre fibras e outras. Todas as técnicas apresentam vantagens e desvantagens conforme as necessidades e as características das aplicações. Do ponto de vista de custo a utilização das FBGs pode ser extremamente interessante, principalmente porque permitem a configuração de redes de sensores em uma mesma fibra distribuídos numa extensão de dezenas de quilômetros, sem a necessidade de alimentação local para os sensores.

Desta forma o custo por ponto de sensoriamento torna-se muito atrativo, uma vez que pode ser usado apenas um único sistema de interrogação e aquisição de dados para determinado trecho da linha. As FBGs podem ser usada para o sensoriamento pontual ou distribuído, formando uma rede de sensores, conforme ilustra a Figura 1.

As grades de Bragg em fibra são gravadas em fibras com um núcleo composto de material vítreo fotossensível, tal como as fibras de sílica com núcleo de sílica e germânio, cuja presença torna o material do núcleo extremamente sensível a radiação UV. Expondo um segmento de 10 a 30 mm, com o revestimento de acrílico removido, a radiação UV causará uma mudança no valor índice de refração do material que compõe o núcleo da fibra, em algo da ordem de 10^{-4} , o suficiente para construção da grade, onde também é necessário uma variação longitudinal periódica do valor do índice do núcleo e o período é da ordem de 1 comprimento de onda/ n_0 ($\sim 0,5$ nm). A variação periódica ao longo do eixo da fibra é obtida expondo-a a uma região de interferência entre dois feixes expandidos de radiação UV procedentes da mesma fonte de UV. As linhas de interferência do UV devem estar com o mesmo espaço entre os picos da grade a ser gravada no núcleo fibra.

As FBGs comercializadas atualmente, por diversas empresas especializadas, do Canadá, EEUU, França, China, Japão e Austrália, apresentam perdas baixas (até 0,1 dB) precisão alta em λ ($\pm 0,05$ nm é facilmente encontrada) para transmissão DWDM por exemplo. As propriedades intrínsecas das FBGs que devem ser levadas em conta na montagem de sensores expostos a variações de temperatura durante as 24h do dia, são coeficiente de temperatura de uma FBG em uso que é da ordem de $1,25 \times 10^{-2}$ nm/°C devido a variações do comprimento da fibra e no valor do índice de refração do núcleo. Atualmente este é um problema contornado, com encapsulamento da FBG com um material com expansão térmica negativa que opõe a expansão da FBG. Ou com o uso de uma segunda FBG designada para medir o deslocamento em λ devido as variações em T.

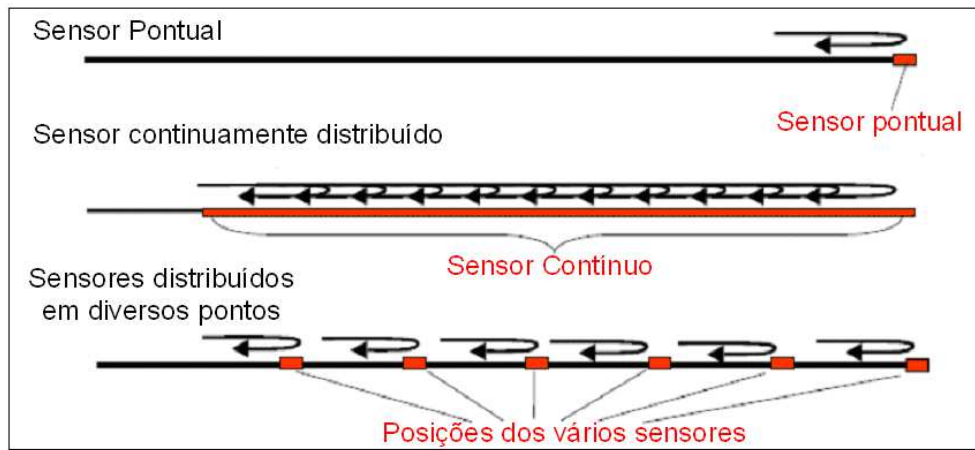


Figura 1. Arquiteturas básicas para as redes de sensores.

Em função do grande número de sensores ópticos com FBG, houve um desenvolvimento bastante significativo das FBGs e como consequência uma grande oferta de dispositivos sensores de fácil aplicação (8) (9). (10) (11), dessa forma a grande maioria dos projetos de sensoriamento óptico têm utilizado as FBGs, que podem ser acopladas a dispositivos transdutores para o sensoriamento de uma infinidade de parâmetros, além dos custos estarem a cada dia mais atrativos favorecendo a construção de sistemas de sensoriamento para as mais variadas aplicações (12).

3.0 - PROTÓTIPO DO SOMLT

A CEMIG em parceria com o CPqD desenvolveram um projeto de pesquisa aplicada para monitoramento de temperatura, força e vibração em condutores de linhas de transmissão que foi baseado na tecnologia de sensores à fibra óptica com grade de Bragg por apresentar um baixo custo, além de possibilitarem a multiplexação de vários sensores em uma mesma fibra, otimizando também o custo do meio de comunicação das informações monitoradas. Dessa forma, a rede de sensores com tecnologia FBG mais o transdutor apropriado para o parâmetro a ser monitorado, opera de forma multiplexada e requer apenas uma fibra óptica para o transporte do pacote óptico emitido, com $\Delta\lambda \approx 50$ nm, e o retorno de uma fração do pacote, com menos de um centésimo do $\Delta\lambda$, mantendo a amplitude correspondente às grandezas físicas monitoradas em campo a partir da central de controle. Essa foi a premissa tecnológica adotada para a definição do projeto do protótipo desenvolvido.

A Figura 2 destaca em linhas gerais a arquitetura do projeto do protótipo SOMLT composto de: (i) fonte de luz - SLED (Superluminescent Light Emitting Diode); (ii) circulador óptico que direciona a luz do sinal emitido e do refletido; (iii) uma fibra óptica de um cabo que é o meio físico de comunicação; (iv) sensores que refletem fração do sinal gerado; (v) OSA (Optical Spectrum Analyser) que analisa a parte do sinal refletido, e por fim (vi) a estação de trabalho que lê e interpreta a informação gerada no OSA e disponibiliza-a em rede corporativa.

3.1 Construção do Protótipo

Para atender ao escopo do projeto de p&d na área de monitoramento de linhas de transmissão foi construído um protótipo composto de: (i) transdutores dos sensores ópticos; (ii) unidade de aquisição das informações ópticas e (iii) programa computacional de leitura dos dados. O transdutor para medir a força mecânica foi dimensionado e fabricado em aço carbono 1020 com formato de “U”, conforme mostra a Figura 3a. As Figuras 3b e 3c detalham a instalação em campo do sistema SOMLT.

3.2 Instalação e Análise dos Resultados

O procedimento para instalação do SOMLT utilizou a fibra do cabo OPGW como meio de comunicação das informações dos sensores instalados no condutor da linha de transmissão até a unidade de aquisição e interpretação dos dados na SE Pouso Alegre 1, e em seguida, esses dados são disponibilizados através de rede corporativa da Cemig no Centro de Controle em Belo Horizonte/MG. Todas informações são atualizadas e convertidas para uma única base de dados no sistema de controle através de aplicativos computacionais em ambiente Intranet.

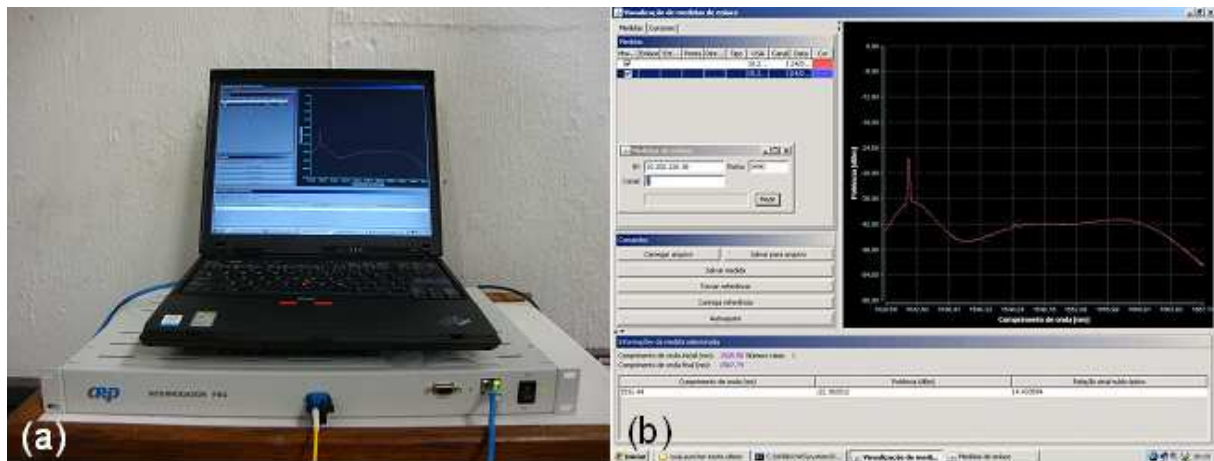


Figura 4. (a) Interrogador de sensores FBG desenvolvido pelo CPqD, (b) Detalhe da tela do SW

O interrogador integra os vários elementos anteriormente utilizados simplificando consideravelmente a implantação do sistema. O interrogador pode ser customizado conforme os requisitos da aplicação desejada, tais como: número de canais de monitoramento (redes de sensores), potência óptica e interfaces de comunicação. Para o cabeça de série foi montado um interrogador de FBG com potência de saída de 14 dBm (1525 a 1565 nm), 4 canais de monitoramento e porta de conexão de rede Fast Ethernet 10/100 Mbps.

A Figura 5 destaca em linhas gerais a arquitetura do projeto do protótipo SOMLT composto de: (i) interrogador que analisa a parte do sinal refletido; (ii) fibra óptica que é o meio físico de comunicação; (iii) sensores que refletem parte do sinal gerado; (iv) e por final, a estação de trabalho que interpreta a informação gerada no interrogador e disponibiliza-a em rede corporativa.

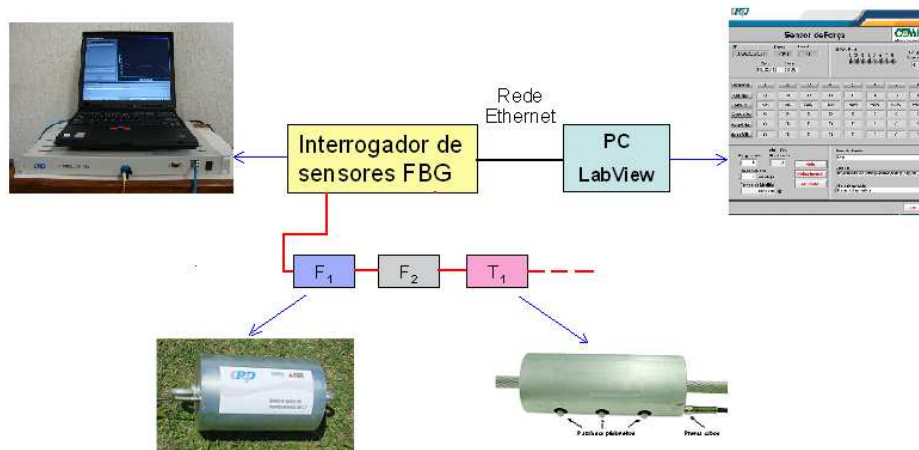


Figura 5. Nova arquitetura do projeto cabeça de série do SOMLT

A arquitetura do cabeça de série do SOMLT foi projetada para receber até 16 FBGs por canal, ou seja, 8 células de carga ou 16 sensores de temperatura, ou os dois tipos desde que respeitado o número limite de sensores e observando a faixa de operação de cada um deles. Observa-se que em cada célula de carga óptica é incluído um sensor interno de temperatura para, a partir desta informação, eliminar os efeitos da temperatura sobre o sensor de strain.

As células de carga ópticas foram montadas considerando o mesmo projeto do sistema transdutor mecânico, entretanto foram utilizados novos sensores FBG, de strain e temperatura, devido à disponibilidade no mercado de produtos com empacotamento eletromecânicos mais adequados para a aplicação em relação aos sensores que foram utilizados no projeto de pesquisa aplicada. Na figura 6 é apresentada uma vista interna da célula de carga óptica com o sensor de strain e temperatura.

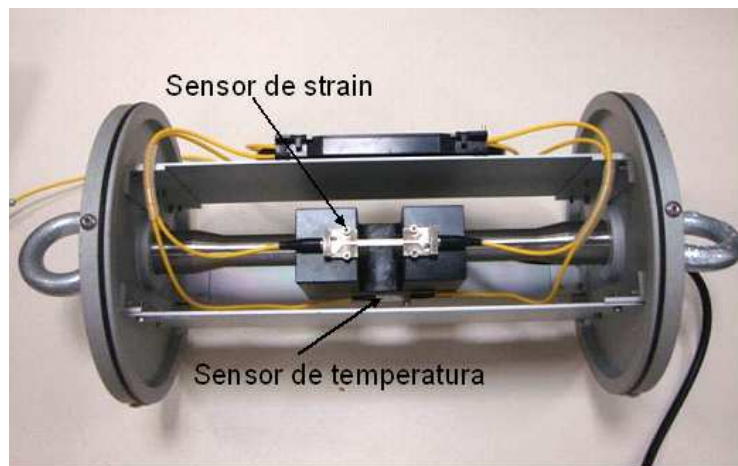


Figura 6. Vista da célula de carga óptica do SOMLT em construção no CPqD.

O projeto de P&D_D264 é o primeiro tipo cabeça-de-série da Cemig D, que irá instalar a primeira versão industrial do sistema SOMLT em uma subestação na região metropolitana de Belo Horizonte. A proposta é utilizar um canal de fibra óptica reserva para não interferir nos canais de Telecom, dos cabos OPGW conforme mostra a gama de possibilidades na Figura 7. Por exemplo, se a subestação Bonsucesso for disponibilizada para a instalação do sistema SOMLT, nessa hipótese, até quatro linhas aéreas poderão ser monitoradas por um único sistema a partir da mesma subestação.

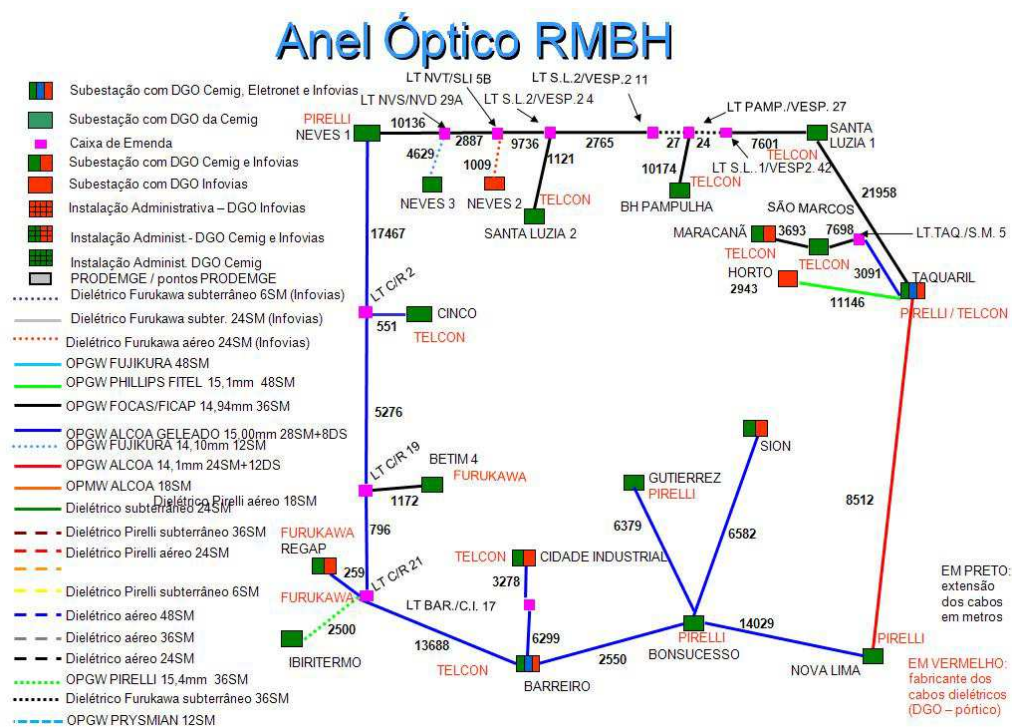


Figura 7. Redes com OPGW na Região Metropolitana de Belo Horizonte.

4.2 Sensoriamento óptico discretamente distribuído

O projeto foi designado como P&D CEMIG D297 - PA - "Desenvolvimento de sistema óptico para monitoramento do regime térmico de operação de condutores em sistemas subterrâneos de energia elétrica". O objetivo do projeto é desenvolver um sistema óptico inovador para monitoramento em tempo real do carregamento térmico de sistemas subterrâneos de energia elétrica em classe de tensão entre 220 V até 138 kV. O sistema será composto, basicamente, por uma rede de sensores distribuídos, um sistema de aquisição de dados e um sistema computacional. Os dados coletados pelos sensores, distribuídos estrategicamente ao longo dos cabos subterrâneos, serão analisados e correlacionados para a determinação da ampacidade desses condutores em tempo real.

4.3 Sensoriamento óptico continuamente distribuído

O projeto foi designado como P&D CEMIG D382 - PA - “Sistema óptico para sensoriamento distribuído de temperatura e tensão mecânica de LT aéreas e subterrâneas”. O objetivo do projeto é desenvolver um sistema óptico, não convencional, de sensoriamento distribuído para os parâmetros de temperatura e deformação, baseado nos efeitos Raman e Brillouin de forma conjugada (13), visando a implementação em sistemas de monitoramento de linhas aéreas e subterrâneas, que possam utilizar condutores com fibras ópticas integradas. O sistema proposto neste projeto se aplica ao sensoriamento distribuído da temperatura e da tensão mecânica ao longo de uma única fibra óptica, esta por sua vez deve estar integrada aos condutores das linhas aéreas e subterrâneas, também em estruturas físicas de barragens, condutos forçados, ou qualquer outra estrutura na qual o monitoramento distribuído da temperatura e da tensão mecânica possa ser realizado por uma fibra óptica integrada à estrutura. O sistema disponibilizará uma interface de visualização dos dados de uma linha de energia a ser monitorada.

5.0 - SISTEMAS COMPUTACIONAIS PARA REDES INTELIGENTES NA ALTA TENSÃO

Pelo lado da aplicação dos dados por meio das redes inteligentes, resumidamente, no caso de monitoramento em tempo real de linhas de alta tensão três grupos de sistemas devem operar de forma interligada, tais como: o grupo de sensores, o meio de comunicação e o sistema computacional “inteligente” de análise das informações. Na prática, o monitoramento de linhas aéreas não é uma tarefa trivial como parece ser, devido às suas características específicas do ambiente da instalação em campo, tais como: (i) os pontos de monitoramento não possuem energia para alimentar os sistemas elétricos e eletrônicos, usam-se baterias automotivas recarregáveis por energia solar, (ii) os locais de supervisão são geralmente em posições de difícil acesso na linha, (iii) os sensores estão constantemente expostos à alta tensão e aos campos elétrico e magnético do condutor, o que necessita de blindagem dos sensores, e mais recentemente (iv) sujeito ao vandalismo. Dentre essas dificuldades é que a tecnologia de redes inteligentes com uso das fibras ópticas irá ganhar muito espaço no setor elétrico frente às outras tecnologias tradicionais, como por exemplo, a comunicação sem fios “wireless”.

5.1 Tratamento das Informações

Os sistemas de monitoramento por meio de redes inteligentes visam à medição de grandezas relacionadas com os parâmetros de interesse do setor elétrico, como por exemplo, em linhas aéreas, o objetivo é medir a flecha ou altura do condutor num determinado ponto da linha. Normalmente, estes sistemas vêm acompanhados de programas computacionais proprietários que recebem os dados medidos em um formato padrão e os traduzem para um formato via protocolo proprietário e fechado. Em que pese à comercialização dos sensores e dos sistemas computacionais em diversos países, alguns inconvenientes podem-lhes ser atribuídos quando instalados no Brasil, como por exemplo, a dificuldade e o custo da manutenção devido à distância do fornecedor e ao programa que traduz os dados, por impossibilidade ou pelo elevado custo de aquisição para acesso ao seu código-fonte, evidentemente, de propriedade do fabricante. Outro grande problema é que os programas apenas leem e armazenam os dados de um único sistema de monitoramento, e ainda, não fazem nenhuma interpretação com análise crítica das medições. No caso dos projetos entre a Cemig e o CPqD não ocorrerá esse cenário nebuloso para o desenvolvimento de rede ópticas para o SmartGrid no Brasil. Toda tecnologia desenvolvida está sendo perfeitamente adaptada ao contexto das indústrias do setor elétrico e eletrônico nacional.

6.0 - PRÓXIMAS PESQUISAS

A Cemig e o CPqD estão atuando em novas linhas de pesquisas para tornar o uso da fibra óptica mais flexível nas redes inteligentes para monitoramento de linhas aéreas e subterrâneas de alta tensão, tais como:

6.1 Compartilhamento do canal de fibras ópticas

O compartilhamento do canal de dados em meio óptico, entre os dados de Telecom e de sensoriamento, é uma otimização para compartilhar essas duas funções distintas por meio de uma mesma fibra. A fase de montagem das simulações em laboratório já se iniciaram no CPqD.

6.2 Uso híbrido das tecnologias óptica e tradicional no monitoramento de equipamentos na alta tensão

Outra necessidade na tecnologia de monitoramento de equipamentos na alta tensão é compartilhar o meio óptico com os sistemas tradicionais existentes, por meio do desenvolvimento de um sistema híbrido óptico e elétrico. A fase de estudo da proposta desse novo projeto de pesquisa já foi iniciada também.

7.0 - CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com o protótipo do SOMLT no Brasil abrem uma inovadora área para pesquisas em rede inteligentes com uso de fibras ópticas. Os resultados obtidos em campo são promissores para novos mercados no Brasil e no mundo para o desenvolvimento dos sensores ópticos com as mais variadas funções na alta tensão, tais como: sensor de força, vibração, temperatura, corrente e tensão, etc.

Dessa forma, a Cemig e o CPqD estão construindo em parceria uma nova plataforma tecnológica de sistemas ópticos que podem ser chamados de smartgrid ópticos da alta tensão na visão dos autores desse trabalho. A monitoração remota via sensores à fibra óptica na supervisão de grandezas elétricas e mecânicas na alta tensão já estão em fase avançada dos testes de campo em linhas aéreas, como por exemplo: i) protótipo SOMLT requerido patente para medição de força mecânica em condutor na alta tensão e ii) protótipo para medição de vibração e temperatura em linhas aéreas de transmissão. Dentre várias outras aplicações que estão em fase de planejamento para desenvolvimento, como por exemplo, o desenvolvimento de sistema óptico de monitoramento sem o uso de sensores ópticos (a fibra é o elemento sensor) e outras diversas aplicações no setor elétrico.

Esse trabalho técnico demonstrou que uma única fibra óptica pode ter vários sensores distribuídos, ao longo da mesma fibra, em diversas posições nos equipamentos na alta tensão e desempenhar diferentes funções por meio da construção da tecnologia smartgrid.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CULSHAW, B.; KERSEY, A. Fiber-Optic Sensing: A historical Perspective. *Journal of Lightwave Technology*, v. 26, n. 9, May 1st 2008.
- (2) Rosolem, J. B.; Hurtado M. R. F.; Floridia C.; Rossi J. A. D. Borin F.; Juriollo A. A. (Outubro - 2007) "Desenvolvimento de sistema de sensoramento óptico para detecção de descargas parciais em hidrogeradores", XIX SNPTEE, RJ – Brasil.
- (3) ROSOLEM, João Batista; Claudio Floridia; Danilo Cesar Dini, Claudio Antonio Hortêncio, Flávio Borin, João Batista de Mello Ayres Neto, Rogério Lara Leite, Eduardo Ferreira da Costa, Edson Wilson Bezerra, Antônio Amauri Juriollo, Jacques Philippe Marcel Sanz, Noberto Bramatti . "Tecnologias de Monitoração de Hidrogeradores utilizando sensores ópticos". *Caderno CPqD Tecnologia*, Campinas, SP, vol. 6, n.1, p. 21 - 30, jan/jun. 2010.
- (4) Do Nascimento, C. A. M; C. A. Hortêncio; J. B. M. Ayres Neto; J.G.D. Aguiar; R. L. Leite; E. F. Costa; D. C. Dini; F. Borin; E.C Longui; P.J.P. Curado "SOMLT - Sistema Óptico para Monitoramento em Tempo Real de Linhas Aéreas de Transmissão", XIX SNPTEE, RJ – Brasil, (Outubro -2007).
- (5) Pires, F. M. N; Marques, R; Curado, P. J. P., Paradisi, A. P.; Ayres, J. B, Borin, F., Leite, R. L., Dini, D. C., Hortencio, C. A. e; Nalin, F. E. "Sensor de Alta Tensão à Fibra Óptica. XVII SEND'I - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Belo Horizonte, agosto de 2006.
- (6) Pires, F. M. N; Marques, R; Curado, P. J. P., Paradisi, A. P.; Ayres, J. B, Borin, F., Leite, R. L., Dini, D. C., Hortencio, C. A. e; Nalin, F. E. "Desenvolvimento de Sensor de Alta Tensão à Fibra Óptica" - IV Citenel, Araxá, MG, 2007.
- (7) NOGUEIRA, Murilo Magalhães. "Sensores em Fibra Óptica Para Medição de Esforços Dinâmicos em Estruturas", International Seminar on Modeling and Identification of Structures Subjected to Dynamic Excitation. Emphasis on Transmission Lines, 2009.
- (8) http://www.micronoptics.com/sensors_products.php
- (9) <http://www.avensysTech.com/AvensysTech>
- (10) <http://www.fos-ta.com/FBG-sensors.html>
- (11) http://www.o-eland.com/SensorProducts/sensor_strain.html
- (12) A. Méndez - Fiber Bragg grating sensors: a market overview - Third European Workshop on Optical Fibre Sensors, Proceedings of SPIE Vol. 6619, 661905, (2007).
- (13) Soto, M.A., Sahu, P.K., Faralli, S., Sacchi, G., Bolognini, G., Di Pasquale, F., Nebendahl, B., and Rueck, C., "High performance and high-reliable Raman-based distributed temperature sensors based on correlation-coded OTDR and multimode-graded index fibers. Proc. SPIE, Vol. 6691, 66193B, 2007.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Carlos Alexandre M. Do Nascimento – Cemig: Doutor pelo curso de pós graduação em Engenharia Elétrica da UFMG (2009). Maiores detalhes podem ser vistos em seu CV Lattes.

Maurissone Ferreira Guimarães - Cemig: Mestre pelo curso de pós graduação em Engenharia Elétrica da UFMG (2006). Maiores detalhes podem ser vistos em seu CV Lattes.

Eduardo Ferreira Costa – CPqD: Mestre pelo curso de pós graduação em Engenharia Elétrica da UNICAMP (2008). Maiores detalhes podem ser vistos em seu CV Lattes.

Claudio Antonio Hortêncio – CPqD: Mestrando pelo curso de pós graduação em Engenharia Elétrica da UNICAMP. Maiores detalhes podem ser vistos em seu CV Lattes.