



## **Grupo de Estudo de Subestações e Equipamentos de Alta Tensão-GSE**

### **Transformadores de instrumentos óticos como alternativa aos convencionais**

**VINÍCIUS CALDEIRA OLIVEIRA(1); PAULO MÁRCIO DA SILVEIRA(1); JOSÉ MARIA DE CARVALHO FILHO(1); UNIFEI(1);**

#### RESUMO

Pretende-se apresentar neste artigo as tecnologias utilizadas nos transformadores para instrumentos óticos (TIOs), bem como fazer uma análise comparativa com os transformadores para instrumentos convencionais (TICs) apresentando as vantagens na utilização dos TIOs em subestações de energia elétrica no Brasil e no mundo. Será enfocado os transformadores de corrente óticos (TCOs), visto que estes têm demonstrado maior viabilidade técnica e econômica. Ademais, deseja-se apresentar as razões desta tecnologia ainda não ter sido largamente difundida e aplicada. Considerando que os TCOs são equipamentos melhores nos aspectos técnicos, econômicos, ambientais e de segurança, busca-se disseminar e incentivar o uso desta tecnologia.

#### PALAVRAS-CHAVE

Transformador Óptico, Sensor de Corrente, Transformador de Corrente (TC), Transformador de Potencial (TP), Transdutor Óptico.

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

Os transformadores para instrumentos (TIs) são equipamentos instalados em subestações de energia elétrica e são utilizados para as funções de medição e proteção dos sistemas elétricos de potência. Os TICs de uso consagrado há décadas, continuam apresentando problemas de linearidade, resposta harmônica, resposta transitória, saturação, segurança, precisão, etc. O mau funcionamento dos TIs nos sistemas de proteção pode provocar falhas de atuação, trazendo prejuízos milionários às concessionárias de energia ou à terceiros, podendo também, gerar danos materiais e/ou pessoais [1] [2] [3].

Os TIOs representam uma boa alternativa para estes problemas, pois possuem desempenho muito superior à dos TICs, tanto em termos de confiabilidade quanto de precisão. A tecnologia utilizada nos TIOs já está consolidada, como atestam diversos estudos publicados a este respeito [5] [6] [7].

Desde o início deste século, alguns fabricantes já oferecem estes equipamentos ao mercado. No entanto, a introdução e a aplicação desses novos equipamentos nos sistemas elétricos de alta tensão encontravam algumas dificuldades técnicas de integração e barreiras culturais de aceitação, o que tem retardado o início de seu uso pelas concessionárias brasileiras e internacionais [2].

Todavia, com a evolução dos dispositivos de proteção e medição microprocessados, bem como com a padronização das normas para garantir a interoperabilidade entre os diferentes produtos e sistemas existentes no mercado, a utilização desta tecnologia tem se tornado uma realidade em diferentes partes do mundo, trazendo maior precisão ao sistema de proteção e medição de uma subestação, dentre outros fatores.

## 2.0 - TECNOLOGIAS, DESEMPENHO, MERCADO E FUTURAS PERSPECTIVAS

Os TICs são usados para medição e aplicação de proteção, juntamente com equipamentos como medidores e relés. Eles servem para "reduzir" a corrente ou a tensão de um sistema a valores mensuráveis, como 5A ou 1A, no caso de transformadores de corrente, ou 115V ou 115/raiz(3)V, no caso de um transformador de potencial.

Um transformador de corrente convencional (TC) é definido como um transformador de instrumento no qual a corrente secundária é proporcional à corrente primária, durante condições normais de operação, e difere em fase dela em um ângulo que é aproximadamente zero. O TC funciona pelo princípio do fluxo variável. A corrente secundária seria igual (quando multiplicada pela relação de espiras) e oposta à corrente primária.

A norma define um transformador de potencial convencional (TP) como aquele em que "a tensão secundária é proporcional à tensão primária e difere em fase de um ângulo que é aproximadamente zero. Parte da corrente do enrolamento primário é necessária para magnetizar o núcleo do TP, reduzindo assim o valor real da corrente primária a ser transformado no enrolamento secundário. Isso naturalmente introduz um erro na transformação.

Em um transformador "real", erros são introduzidos, pois parte da corrente é puxada para a magnetização do núcleo, significando erro de módulo e ângulo, no caso dos TCs, e de queda de tensão nos enrolamentos primário e secundário, no caso dos TPs..

Desta forma, os TICs são baseados em transdução eletromagnética por acoplamento indutivo entre enrolamentos montados sobre núcleos ferro-magnéticos e/ou em divisores capacitivos:

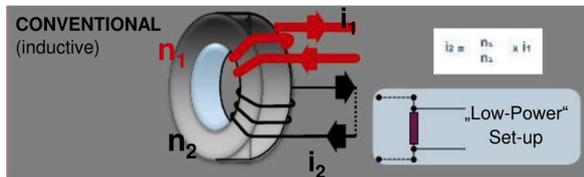


Fig. 1 – Funcionamento TC Convencional [9]

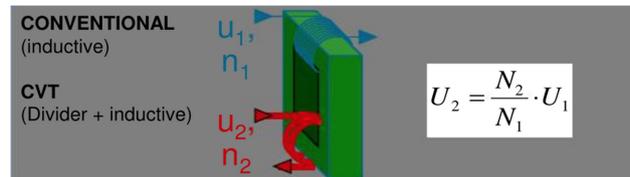


Fig. 2 - Funcionamento TP Convencional [9]

Ao contrário dos TICs, os TIOs não possuem um núcleo ferro magnético. Eles são baseados nos efeitos dos campos elétrico e/ou magnético sobre feixes de luz polarizados, conforme ilustram as figuras 3 e 4.. Os efeitos Faraday e Pockels são os mais popularmente empregados na fabricação, respectivamente, de TCs e TPs ópticos, mas outros podem também ser utilizados [2].

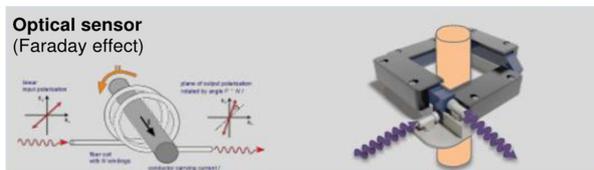


Fig. 3 – Funcionamento TC Óptico [9]

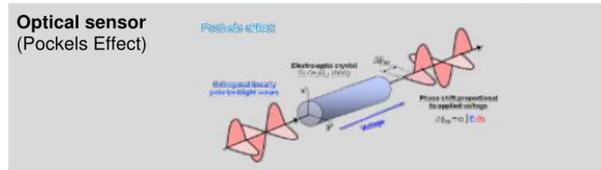


Fig. 4 - Funcionamento TP Óptico [9]

A seguir apresentaremos em maior detalhe, com maior enfoque nos conceitos teóricos dos TCOs:

### 2.1 Transformadores de Corrente Ópticos - Conceitos Teóricos

Os Transformadores (transdutores) de Corrente Óptica (TCOs) são sensores que usam métodos de sensoriamento óptico para medir correntes elétricas de forma direta ou indireta. A vantagem dos transdutores magneto-óptico diretos, usando materiais opto-magnéticos ativos, é a ausência de variáveis adicionais de perturbação causadas por partes sensoras mecânicas ou elétricas tais como histerese, saturação, indução, influência da temperatura e amortecimento.

Nos últimos anos, diversos sistemas de medições de corrente baseados em dispositivos ópticos foram desenvolvidos. Os TCOs apresentam inúmeras potenciais vantagens se comparados aos transformadores de corrente convencionais (TCCs), dependendo do princípio do sensoriamento. Apresentaremos aqui alguns princípios de transdução de corrente óptica:

- TCO baseado no efeito Faraday;
- Princípios interferométricos;
- TCOs baseados em difração de Bragg;

### 2.1.1 O Efeito Faraday

O efeito Faraday é um efeito magneto-óptico que causa uma mudança no estado de polarização da luz e foi descoberto por Michael Faraday em 1845. Assim, quando um feixe de luz é enviado através de um material de Faraday, o vetor de polarização da luz será rotacionado em um ângulo  $\theta$  dependendo da intensidade do campo magnético em paralelo ao feixe de luz, conforme demonstrado na figura 5.

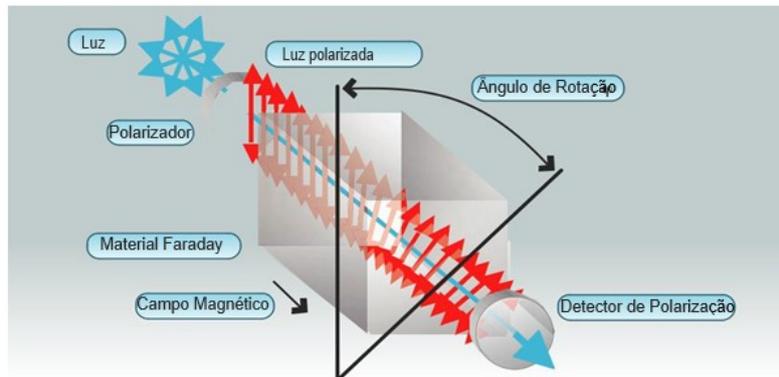


Fig. 5 – Efeito Faraday (10)

#### 2.1.1.1 Polarização

A luz pode ser considerada como uma onda plana e possui campos magnéticos perpendiculares à direção de propagação. Apenas o vetor de campo E é descrito quando se fala em polarização, uma vez que o vetor campo magnético é sempre perpendicular e proporcional a ele. Os dois componentes do vetor de campo elétrico são definidos como componentes x e y. Para uma onda harmônica simples, esses componentes variam senoidalmente com a mesma frequência. Todavia, sua amplitude e fase podem diferir, uma vez que há polarização linear, polarização circular e polarização elíptica.

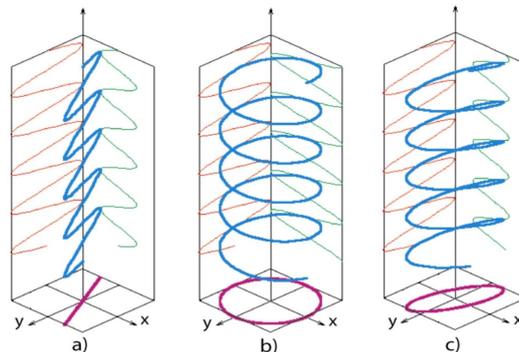


Fig 6: a) Linear, b) circular e c) polarização elíptica

- A polarização linear ocorre apenas quando ambos os componentes do vetor de campo elétrico x e y estão em fase;
- A polarização circular ocorre quando os dois componentes x e y estão exatamente defasados em 90 graus e têm exatamente a mesma amplitude. O sentido de rotação depende de qual dos dois componentes está 90 graus à frente do outro. Esses casos são chamados de polarização circular à direita e polarização circular à esquerda.
- Todos os outros casos em que os dois componentes diferem em amplitude ou fase são chamados de polarização elíptica.

O Efeito Faraday é representado matematicamente como:

$$\theta = \int_L \vec{k} \cdot \vec{M} \cdot d\vec{l}$$

Onde:

- $\theta$  é o ângulo de rotação da luz polarizada;
- $M$  é a intensidade da magnetização;
- $l$  é o comprimento do material de Faraday;
- $k$  é uma constante dependente do material de Faraday.

O efeito Faraday surge da interação da órbita do elétron e do spin do elétron com campo magnético.

O ângulo de rotação devido ao Efeito Faraday também pode ser expressa em termos de constante de Verdet  $V$  e da força do campo magnético  $H$ .

$$\theta = \int_L V \cdot \vec{H} \cdot d\vec{l}$$

A constante de Verdet é a rotação específica de um material e é definida como o ângulo sobre o campo magnético vezes o comprimento ( $^{\circ}/T.m$ ):

$$V = \frac{\mu \cdot \theta}{B \cdot l}$$

$V$  é obtida pelas propriedades magnéticas do material.  $B$  é a componente da densidade do fluxo magnético paralelo à direção de propagação da luz.

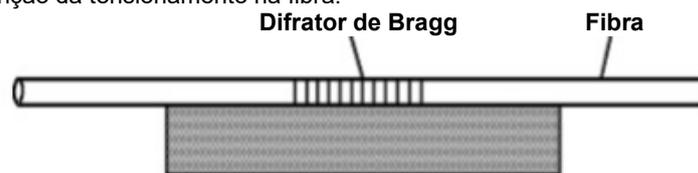
Em materiais como o Ferri e os ferro-magnéticos, onde a rotação é relativamente maior, a constante de Verdet  $V$  é maior. Em materiais para- e diamagnéticos onde a rotação de Faraday é menor, a constante Verdet também é menor.

### 2.1.2 O Princípio Interferométrico

Em um interferômetro é medida a diferença do comprimento entre dois caminhos ópticos. Para usar este princípio para medir a corrente, a diferença de comprimento deve ser transferida para uma variação de comprimento do caminho. Na maioria dos casos, a mudança é conseguida através da magnetostrrição. No caso, um material magnetostritivo é revestido sobre a fibra como o níquel, vidros metálicos, etc. e ao serem expostos a um campo magnético, sofrem uma alteração na forma da fibra (no seu comprimento). Assim, esta mudança no comprimento do caminho óptico pode ser medida, trazendo a fibra para um braço de um interferômetro Machzender. Todavia, problemas de histerese e saturação de materiais magnetostritivos limitam a aplicabilidade de esta técnica.

### 2.1.3 TCOs baseados no Difrator de Bragg

O princípio é na verdade interferométrico, mas é agrupado separadamente devido à diferença nos mecanismos de detecção e em sua estrutura. Uma grade de Bragg é uma grade óptica que funciona como filtro óptico. A luz que se propaga no núcleo será refletida pelas interfaces entre as regiões com diferentes índices de refração. A luz refletida geralmente está fora de fase e está extinta. Contudo, para um determinado comprimento de onda, conhecido como o comprimento de onda de Bragg, a luz refletida será igual em fase e adicionada construtivamente. Isto leva à reflexão da luz em uma faixa muito estreita do comprimento de onda. Outros comprimentos de onda quase não são afetados e passam a fibra. Quando essa fibra é tensionada, a constante da grade se altera e, conseqüentemente, muda o comprimento das onda refletidas. Isso pode ser detectado como uma função da tensionamento na fibra.



**Haste Magnetostritiva**

Fig 7: Difrator de Bragg

## 2.2 Comparação do Desempenho dos TCOs frente aos TCCs

### 2.2.1 Exatidão e Precisão dos Transformadores de Corrente Óticos.

A exatidão indica a proximidade dos resultados da medição para o valor verdadeiro (valor de referência), enquanto a precisão é a repetibilidade ou a reprodutibilidade da medição (ou o período no qual as medidas repetidas se espalham em torno do seu valor médio).

Os TCOs apresentam excepcionais características de exatidão e precisão, apresentando erros muito inferiores aos requeridos pela norma IEC60044-8, tanto para o serviço de medição (0,2 ou 0,2S), quanto para o de proteção (5TPE). As figuras 8 e 9 demonstram a performance dos sistemas de medição de faturamento para TCO's de fabricação GE e ABB, respectivamente.

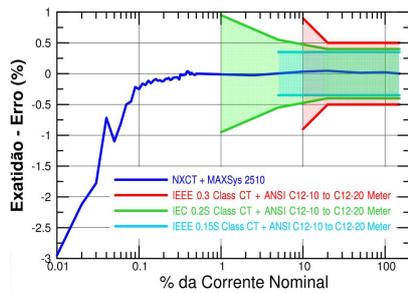


Fig. 8 – Medição faturamento: NXCT [10].

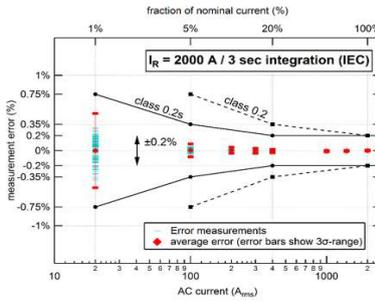
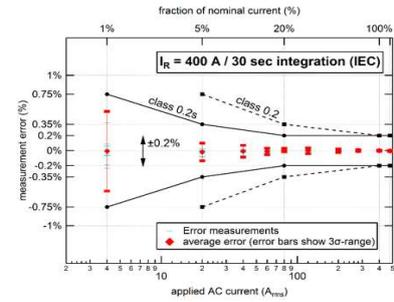
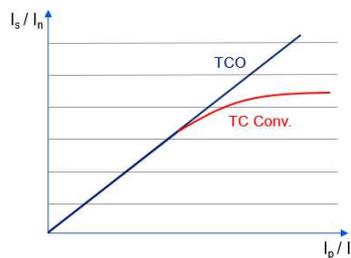


Fig. 9 – Medição de faturamento: ABB FOCS [8]



### 2.2.2 Livre de saturação e histerese

Devido às características não lineares do núcleo ferro-magnéticos dos TCCs, eles saturam quando o valor de corrente ultrapassa a corrente nominal em cerca de 20 vezes para núcleos de proteção e 4 vezes para núcleos de medição, sendo uma desvantagem para o dimensionamento do equipamento bem como para sua operação. Eles também apresentam perdas e fluxo remanescente devido à histerese. Já os TCOs não apresentam saturação ou histerese por não terem núcleo ferro-magnético e possuem faixa de operação linear muito melhor, conforme figura 10.

Fig. 10 – TCC x TCO - Características  $I_s$  e  $I_p$  em função de  $I_n$ .

### 2.2.3 Segurança, isolamento, sustentabilidade e manutenção

Os TCCs são em geral isolados à óleo ou a gás SF6. Assim, se ocorrer um problema na isolamento, por exemplo, eles podem apresentar vazamento passível de contaminação do solo e de dano ao meio ambiente. Em situações ainda mais graves, podem ocorrer incêndios e explosões, como pode ser visto na figura 11, colocando em riscos a vida de pessoas, bem como danificando equipamentos adjacentes.



Fig. 11 – Sequência mostrando explosão de um TC em uma subestação.

Outrossim, os TCO's não possuem isolamento à óleo ou gás, eliminando os problemas de falha de isolamento e são livres de explosão. Ademais, devido à complexidade construtiva dos TCCs, os custos de manutenção tendem a ser muito mais elevados do que para os TCOs.

### 2.2.4 Compacto, leve e de provável menor custo.

Como pode ser visto na tabela 1, as massas dos TCCs são muito superiores às massas dos TCOs, garantindo assim uma instalação e manuseio muito mais prática e fácil para os TCOs.

Isto sugere que o Custo Total de Posse (Total Cost of Ownership) do TCO seja provavelmente significativamente inferior ao do TCC. Neste caso, deve-se levar em consideração que os TCO's apresentariam as seguintes vantagens:

- Menores custos e prazos de produção;
- Menores custos de fundação civil e de estruturas suportes;
- Menores custos de cablagem (fibras x cabos de sinal analógico);
- Menor custo de construção de canaletas e de instalação das fibras óticas;
- Maior facilidade de manuseio e instalação (redução de prazo e custo);
- Possíveis menores custos de operação e manutenção a longo prazo.

Além disso, é fundamental frisar que hoje comparamos os custos de uma tecnologia consolidada e com larga escala de produção com uma tecnologia em implementação com baixa escala de produção e com custos de desenvolvimento ainda a serem diluídos, para correta análise do retorno do investimento.

É importante salientar que na base comparativa, deve-se diluir o custo da “Merging Unit” (MU) aos custos dos equipamentos aos quais ela está associada.

Un (kV)	TC Convencional - Massa em Kg								TC Óptico - Massa Kg			
	Fabricante A		Fabricante B		Fabricante C		Fabricante D		Fab. A	Fab. B	Fab. C	Fab. E
Meio isolante	Óleo	Gás SF6	Óleo	Gás SF6	Óleo	Gás SF6	Óleo	Gás SF6	Isolador	Isolador	Isolador	Isolador
72,5	245	245	240	230	230	176	280	185	34			
123	490	490	290	300	230	184	300	205	40			70
145	495	495	490	300	230	190	310	205	40			
245	775	775	1100	570	430	425	560	400	50	172		110
362	1010	1010	1500	650	800	680	870	1650	56			
420	1395	1395	1600	1350	900	780	920	1700	80	240		
550	1900	1900	2800	1000	1400	810	1700	1800	80	276		
800	3700	3700	4200	1500		3250	2050		80	363		
Current Sensor									22		15	11
Merging Unit (MU)											5	

Tabela 1 – Comparação das massas dos TCCs e dos TCOs

### 2.2.5 Outras vantagens dos TCOs:

- Melhor comportamento frente a interferência eletro-magnética (EMI): Devido à transmissão dos sinais utilizando fibra óptica, os TCOs são muito menos susceptíveis à estas interferência do que os TCCs;
- Melhor resposta em frequência: Os TCOs apresentam resposta em frequência ampla variando de 5 Hz até 20 kHz;
- Facilidade de integração em sistemas de controle atualmente digitais.

### 2.3 Análise de Mercado, Principais Fabricantes e Perspectivas Comerciais

Estima-se que o volume de mercado anual para os transformadores de instrumentos convencionais é de quase 1,5 bilhões de dólares no mundo e ao redor de 35 milhões de dólares no Brasil.

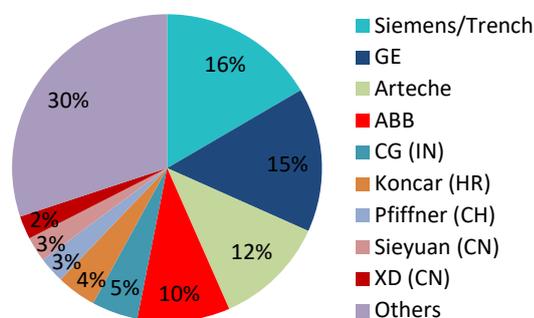


Fig. 12 – Participação no Mercado Mundial de TIs

Desta forma, supondo que somente 10% deste mercado adotasse a tecnologia de TIOs, isto já representaria um volume 150 MUSD, o que já viabilizaria a implementação dos TCOs no mercado. Com o passar dos anos é bem provável que esta tecnologia substitua boa parte dos equipamentos convencionais.

#### 2.3.1 Principais fabricantes de TIOs

##### 2.3.1.1 General Electric (GE)

A GE (anteriormente Alstom / Nextphase) possui mais de 4500 TCOs instalados e tem capacidade de produção de 2000 fases / ano [10]. O equipamento possui peso bem reduzido se comparado com outros fabricantes. Eles detêm muitas patentes e apresentam um portfólio de TCOs de 72,5 a 800kV, podendo ser instalados de forma independente, em conjunto com disjuntores ou como unidade de medida combinada com TPC. A Nextphase descontinuou seu sensor de tensão óptico, quando a mesma foi adquirida pela Alstom.

### 2.3.1.2 ABB

A ABB desenvolve sensores de corrente ótica baseados no princípio do efeito Faraday desde 1990. A última geração de sensores de corrente de fibra ótica foi adotada para cobrir a demanda de TCOs (FOCS) com saída digital. Mais de 700 sistemas "FOCS" já foram instalados em todo o mundo, sendo a maioria para aplicações em corrente contínua. Diversas instalações em corrente alternada também foram realizadas e se encontram em operação sem intercorrências em concessionárias e indústrias em países como Suécia, Suíça, Estados Unidos e China, sendo que alguns possuem mais de 6 anos operando normalmente. A ABB possui um portfólio de TCOs de 245 a 800kV, podendo ser instalados de forma independente, em conjunto com disjuntores-seccionador (DTB), em equipamentos híbridos isolados à gás como o PASS em subestações blindadas isoladas a gás (GIS).

### 2.3.1.3 Siemens

A Siemens (Trench) possui uma longa história no desenvolvimento de transformadores de corrente óticos e chegou a desenvolver um sensor de corrente ótico para aplicação em disjuntores de tanque vivo e em sistemas HVDC, mas o abandonou em 2006. Recentemente a Siemens retomou os TCOs baseados no efeito Faraday (bulk glass). Não foram encontradas muitas informações sobre os TCOs da Siemens / Trench.

### 2.3.1.4 SDO / Artech

A Smart Digital Optics (SDO) foi fundada a partir de seu desmembramento da Universidade de Sydney em 2004 e fabrica sensores de corrente de fibra ótica para as indústrias de energia elétrica e fundição. Em 2010, a SDO formou uma aliança estratégica com a Artech, tradicional fabricante de equipamentos elétricos, dentre eles os transformadores de instrumentos convencionais. Como tecnologia, a SDO utiliza o efeito Faraday em fibra ótica. Possuem versões de sensores para AC, alta DC e portáteis para AC / DC. Possuem instalações de TCOs em subestações na Austrália, Nova Zelândia, Espanha, México, Brasil, entre outros. Uma instalação piloto do IEC 61850 Process Bus usando tecnologia SDO / Artech OCT foi comissionada com sucesso na subestação Posto Fiscal de 138 kV da COPEL no Paraná, Brasil (abril de 2013). TCOs de alta DC foi instalado na Alcoa, Xstrata, Rio Tinto, Nysta.

### 2.3.1.5 Profotech

Profotech foi estabelecida em 2010 em Moscou na Rússia, visando a fabricação sensores de corrente em fibra ótica para os segmentos de energia, indústria de transporte, metalurgia e indústria química. Durante os últimos anos, passou pelos processos de construção de protótipos, testes internos, instalações de projetos pilotos, certificação de toda a linha de produtos, culminando com o início de sua operação comercial em 2016. Atualmente, é a única empresa na Rússia que possui "know-how" próprio tanto para criação de seu sensor de fibra magneto-óptico quanto para produção do equipamento final e produzem TCOs de 110 a 750kV. Entre os principais clientes podemos citar a Federal Grid Company (Rússia), Mosenergo (geração de energia), empresa Kazan Grid, Rusal.

## 3.0 - CONCLUSÃO

Conforme exposto anteriormente, os Transformadores de Corrente Óticos apresentam diversas vantagens se comparados à equipamentos convencionais, tais como melhores exatidão e precisão, livre de risco de explosão (livre de óleo e de gás SF<sub>6</sub>), melhor resposta a correntes elevadas mantendo a linearidade da resposta, menor peso e provável custo reduzido. Aos poucos as concessionárias e indústrias em todo o mundo estão adotando esta tecnologia, uma vez que os projetos pilotos e demais instalações têm demonstrado que a eletrônica embarcada nos TCOs é confiável. Outro fator que tem contribuído para aumentar esta aplicação são as eventuais falhas recorrentes causadas por transformadores de correntes convencionais, os quais tem gerado perdas financeiras para as empresas, bem como danos ambientais e riscos à vida.

Apesar de haver um crescimento na utilização dos TCOs nos últimos anos, o setor elétrico é extremamente conservador e barreiras culturais também precisarão ser vencidas para que a sua aceitação seja plena. Deve-se considerar também a resistência dos profissionais de operação e manutenção de subestações, uma vez que eles, em sua maioria, ainda não estão tecnicamente aptos à lidar com esta nova tecnologia, o que demandará tempo e esforço, dificultando assim, o seu processo de implementação. Para quebrar esta barreira, deve-se investir em treinamentos e em divulgação contínua.

As futuras tendências da tecnologia como inteligência artificial, IoT, indústria 4.0 e a digitalização das subestações acabam corroborando para que os agentes envolvidos neste processo decisório desta mudança comecem a considerar as novas tecnologias em maior escala e de forma definitiva

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) LIMA, D. K., "Transformadores para Instrumentos Óticos: Aspectos da Viabilidade do seu Uso pelas Empresas do Setor Elétrico Brasileiro", Dissertação (Mestrado) da Escola Politecnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009;
- (2) LIMA, D. K., SANTOS, J.C., "Transformadores para Instrumentos Óticos: Sua Viabilidade no Setor Elétrico Brasileiro", Revista O Setor Elétrico, Edicao 54, Julho 2010;
- (3) ULIANA, Policarpo, "TECO-MR 550 kV – Transformador de corrente óptico de até 550 kV com medição redundante", Apresentação no IV Energy Show com o resultado do P&D Aneel realizado entre Tractebel Energia, Copel e a empresa Power Opticks, Florianópolis, SC, 2014;
- (4) CIGRE 394 Study Committee A3, "State of the Art of Instrument Transformers", October 2009;
- (5) SILVEIRA, Paulo Márcio da; GUIMARÃES, Carlos Alberto Mohallem. "Novos transdutores de corrente e de potencial em alta tensão: estado da arte, tendências e aplicações"
- (6) ULMER Jr., Edward A. "A High-accuracy optical current transducer for electric power systems". IEEE Transactions on Power Delivery, v. 5, p. 892-898. 1990.
- (7) MAFFETONE, T. D.; McCLELLAND, T. M. "345 kV substation optical current measurement system for revenue metering and Protective Relaying". IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 6, p. 1430-1437. 1991.
- (8) VUJANIC, Aleksandar, "Introduction of FOCS and FOCS based applications", ABB Customer Presentation, 2017.
- (9) Trench Germany GmbH, "NCIT Overview", TRENCH Customer Presentation, 2016/17.
- (10) BLAKE, James (Alstom Product Director), 24th Int. Optical Fiber Sensors Conference 2015.

#### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



##### **Vinícius Caldeira Oliveira.**

Engenheiro Eletricista pela EFEI – Escola Federal de Engenharia de Itajubá (2001), hoje UNIFEI . Mestrando em Engenharia Elétrica na UNIFEI (2019). Experiência de 18 anos nos setores de Energia, Infraestrutura, Serviços e Projetos "Turnkey", desenvolvidos em multinacionais como Siemens e ABB. Trabalhou em funções de Vendas, Ofertas, Marketing, Gestão de Projetos/Contratos, Engenharia e Cadeia de Suprimentos

**Paulo Márcio da Silveira.** Possui graduação em Engenharia Elétrica pela EFEI – Escola Federal de Engenharia de Itajubá (1984), hoje UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá. Possui mestrado também pela EFEI (1991) e doutorado pela UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina (2001). Trabalhou na Albrás Alumínio Brasileiro S.A. e na Balteau Produtos Elétricos Ltda. (1985-1988). Foi pesquisador visitante no Center for Advanced Power Systems, na Florida State University, Tallahassee, EUA (2007-2008). É professor da UNIFEI desde 1993 (atualmente Associado IV). É coordenador do GQEE – Grupo de Estudos em Qualidade da Energia Elétrica e coordenador do QMAP – Centro de Estudos em Qualidade da Energia e Proteção Elétrica. É coordenador do CEPSE – Curso de Especialização em Proteção de Sistemas Elétricos. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência atuando principalmente nas seguintes subáreas: Proteção de Sistemas Elétricos, Qualidade da Energia Elétrica, Medição Elétrica e Processamento de Sinais aplicados a IEDs.

**José Maria de Carvalho Filho.** Engenheiro Eletricista com Curso de Especialização em Sistemas Elétricos- EFEI-ELETROBRÁS (1992). Mestre em Engenharia Elétrica pela EFEI (1996), na área de Qualidade da Energia Elétrica - QEE sobre o tema Fenômeno Flicker. Doutorado na área QEE sobre o tema Afundamentos de Tensão pela EFEI (2000). É Professor da UNIFEI desde 2001 (atualmente associado-4), ministrando aulas na graduação e pós-graduação nas áreas de Qualidade da Energia e Proteção de Sistemas Elétricos Industriais e de Distribuição. Pesquisador e instrutor da Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria - FUPAI. Coordenador Adjunto do QMAP- Grupo de Estudos em Qualidade da Energia e Proteção Elétrica. Tem experiência na execução de projetos e consultorias na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência e Industriais, atuando principalmente nas seguintes sub-áreas: Qualidade da Energia e Proteção de Sistemas Elétricos de Distribuição e Industriais.