



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**CB/GLT/12**

**22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR**

## **GRUPO GLT**

### **NOVAS CONCEPÇÕES E TECNOLOGIAS PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO CA E CC INCLUINDO SEUS COMPONENTES**

#### **ENVELHECIMENTO DE CABOS CONDUTORES PARA A TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Márcio Antônio Sens e Edson Ueti  
CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - ELETROBRAS**

## **RESUMO**

Quanto tempo se espera que dure os condutores de uma linha de transmissão de energia elétrica? Será que os condutores de alumínio ACSR utilizados nas primeiras linhas de transmissão que alimentaram as obras iniciais da construção de Brasília-DF ainda estão em condições operacionais? O fenômeno do envelhecimento atinge também aos cabos elétricos e acessórios das linhas que levam energia elétrica aos mais distantes pontos do território nacional? Para responder a estas questões foram estudados alguns cabos de distintas regiões do Brasil, bastante antigos, retirados de operação por falha ou por cautela e confrontados em suas características condutivas com cabos novos.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Alumínio; Cabos Elétricos; ACSR; Condutividade; Envelhecimento; Termorresistente

## **1.0 - INTRODUÇÃO**

Raros são os trabalhos técnicos que tratam da confiabilidade e da segurança de linhas de transmissão aéreas sob aspecto dos materiais e dos acessórios para os cabos condutores. Nos últimos quinze Seminários Nacionais de Produção e Transmissão de Energia Elétrica nenhum trabalho foi encontrado. No entanto, falhas em linhas de transmissão de energia elétrica por ruptura dos cabos condutores ocorrem com bastante frequência. Um belo e sofisticado trabalho de projeto da linha aérea não garante a durabilidade da mesma, mas sim o empenho das equipes de projeto, de montagem e de manutenção na elaboração das emendas e das terminações dos cabos condutores, com o uso adequado de materiais. O projeto adequado dos acessórios é de fundamental importância.

Com o surgimento de novos materiais condutores para cabos de linhas aéreas, mais especificamente de novas ligas de alumínio, algumas denominadas termorresistentes, justificam-se novos empenhos em avaliação criteriosa dos acessórios tradicionalmente utilizados nos cabos de alumínio reforçados com alma de aço – ACSR com os novos cabos.

O Informe Técnico mostra os resultados experimentais envolvendo uma série de novos cabos condutores, de novas concepções e novos materiais referentes ao desempenho elétrico dos acessórios por compressão.

A resistência elétrica em corrente alternada, e a variação da mesma com a amplitude da corrente elétrica aplicada nos ensaios - importante para a computação das perdas, inclusive sobre as possíveis vantagens dos termorresistentes sobre os tradicionais, também constitui objeto do presente Informe Técnico, sobretudo para os cabos de camadas ímpares de condutores de alumínio.

O informe também mostra resultados de avaliações de cabos antigos, retirados durante inspeção de linhas de transmissão de distintas regiões nacionais, objetivando identificar a viabilidade de manutenção dos mesmos em serviço. Ou seja, mostra-se uma técnica para avaliação do envelhecimento dos cabos condutores elétricos em alumínio com dois exemplos antagônicos.

Concluiu-se que alguns cabos antigos, que operam em regiões de alta agressividade, não têm mais condições satisfatórias de permanecer em operação, pelas dificuldades de aceitarem novas conexões elétricas. Neste caso, os condutores, ou fios de alumínio, pela agressividade ambiente, adquiriram uma camada oxidante tão espessa que o contato elétrico entre tais fios não pode ser estabelecido adequadamente, pela simples compressão normalmente utilizada nos acessórios à compressão.

Também apresenta-se neste Informe Técnico o resultado de análise pericial de um segmento de linha aérea retirada de operação por inspeção, antes da ocorrência de ruptura, onde conexões elétricas aparafusadas foram utilizadas, e o diagnóstico sobre as causas da ruptura parcial dos cabos. O cabo condutor envelhecido em operação foi igualmente avaliado para identificar a viabilidade de manutenção do mesmo em operação. Concluiu-se pela necessidade da manutenção do torque de aperto dos parafusos dos conectores de pressão aparafusados, pelas equipes de manutenção de linha viva.

Acessórios para cabos novos, totalmente em alumínio e com uso de almas de alumínio liga foram avaliados e os resultados são igualmente apresentados, destacando-se a necessidade do uso da taxa de compressão adequada. Conexões são mostradas com distintas taxas de compressão, cujas áreas de vazios foram avaliadas por aplicativos de análise de imagens, para ilustração numérica das diferenças entre conectores bem e mal ajustados aos cabos condutores. Em uma delas justifica-se o envelhecimento mais rápido, pelas possibilidades de entrada de água na conexão, intensificando a taxa de degradação progressiva por oxidação.

Um levantamento dos últimos quarenta anos permitiu reunir uma coletânea problemas: falhas em projeto de acessórios para linhas aéreas; negligências de manutenção; uso inadequado de materiais e de ferramentas que justificam, agora, muitas quedas de linhas e de interrupções nos sistema de transmissão de energia elétrica.

## 2.0 - HISTÓRICO

Quando Juscelino Kubitschek decidiu construir Brasília, encontrou dificuldade no suprimento de energia elétrica para a região que abrigaria a nova Capital Federal. Não existia nenhuma fonte de geração de energia elétrica nas proximidades. O prazo para a inauguração da nova cidade - 21 de abril de 1960 - era relativamente curto para se instalar uma fonte de energia local, em caráter definitivo <sup>[2]</sup>. A alternativa era o aproveitamento da energia da Usina Hidrelétrica de Cachoeira Dourada, que ainda estava sendo construída na divisa entre os estados de Minas Gerais e Goiás, distante quase 400 km de Brasília. Em agosto de 1959 a Capital começou a receber energia elétrica desta usina, de 10.000 kW e a partir daí foram implantadas as primeiras redes elétricas definitivas, com circuitos aéreos e subterrâneos. Antes disso, o suprimento provisório foi feito através de medidas emergenciais, como a aquisição de dois motores diesel-elétricos de 90 kVA cada; a construção de uma pequena usina hidráulica no Catetinho (para abastecer a primeira residência do Presidente no Planalto Central), e outras, em 1958, a de Saia Velha para alimentar os escritórios, oficinas, serrarias, olaria, aeroporto e residências da NOVACAP e da Granja do Ipê. Outra usina começou a ser construída, a do Paranoá, mas que só ficaria pronta em 1962 <sup>[2]</sup>.

Em solenidade realizada na manhã do dia 28 de fevereiro de 1957, no Palácio do Catete (RJ), antiga sede do governo federal, Juscelino Kubitschek assina a escritura pública de constituição da Central Elétrica de Furnas S.A. Em 1960 ocorre a construção da linha de transmissão de 345 kV de Furnas para Belo Horizonte-MG<sup>[3]</sup>. Os cabos elétricos utilizados nestas primeiras linhas de transmissão de energia elétrica para o suprimento da nova Capital Federal constituem, agora, objetos de análise do presente Informe Técnico.

## 3.0 - AMOSTRAS DE CABOS AVALIADAS - CASOS

### 3.1 Cabo Duck de Brasília

Segmentos de cabos ACSR Duck – 605 kCM, para 770 A, antigos, instalados em Brasília em 1958, retirados da Linha de Transmissão LT Brasília Sul – Pirineus de 230 kV, torres 404 e 414, com aproximadamente 4 metros de comprimento, conectados em paralelo por meio de conectores aparafusados, com quatro parafusos de aço carbono, conforme [Figura 1](#).

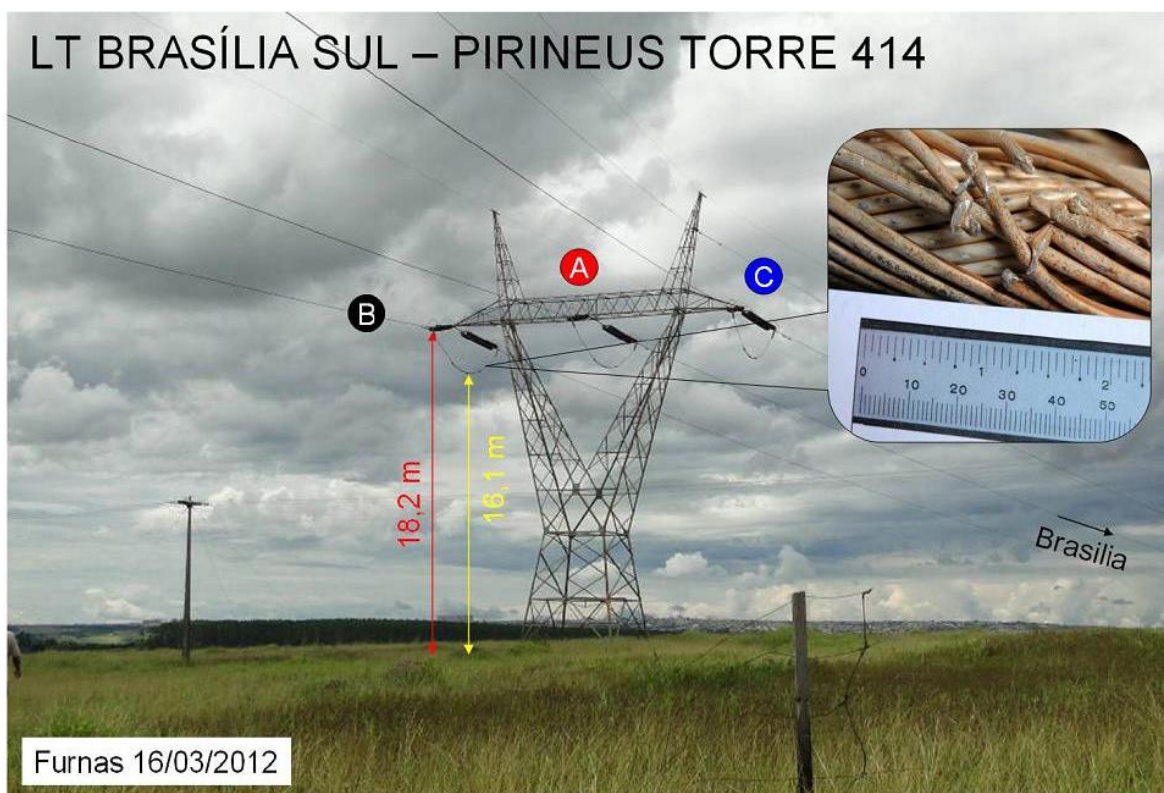


**Figura 1 – Amostras de Cabos da Linha de Transmissão LTBS-OS/PS – Brasília**

A linha de transmissão, onde foram encontrados os problemas em cabos de alumínio, foi construída em 1958, pela antiga Companhia de Eletricidade de Goiás e transferida para Furnas em 1971. O condutor instalado na linha não é usual nos demais sistemas Furnas e nas empresas congêneres [8], [9].

Segundo relatos da equipe da Eletrobrás – Furnas [5], em uma inspeção realizada na LTBS-PS, foram observados alguns *jumpers* das cadeias de ancoragem com os cabos bem danificados. Em três dessas torres efetuaram-se leituras com o termovisor e foram observadas altas temperaturas nos conectores paralelos. No dia 16/03/2012 foram substituídos os cabos da fase “B” da torre 414 e da torre 304, que eram os mais graves. Ainda segundo relatos, existia uma programação de desligamento para o dia 06/04/2012 dessa linha, quando se pretendia fazer a substituição da fase “A” da torre 414 e fase “C” da torre 184. Um fato que chamou a atenção da equipe de Furnas, durante as inspeções, foi a situação dos cabos retirados, onde observou-se que os tentos estavam se rompendo dentro e também fora do conector, apresentando sinal de aquecimento, pois foram evidenciados indícios de derretimento. Foi solicitado à Operação um levantamento do carregamento dessa linha nos últimos três meses, pois suspeitava-se que, após as restrições da SE Bandeirantes em Goiânia, esse circuito estivesse sendo sobrecarregado. Diante do exposto, Furnas solicitou o apoio do CEPEL para uma análise mais detalhada da situação dos citados condutores.

A **Figura 2** mostra a configuração da linha de transmissão de energia e da torre onde foram detectados os problemas de aquecimento e ruptura parcial de cabos de alumínio.



**Figura 2 – Linha de Transmissão das Amostras- Sinais de Tentos Rompidos**

Neste caso em particular, levantou-se as seguintes hipóteses para justificar as ocorrências: fadiga pela vibração causada pelo vento [9]; fadiga pela vibração causada pela corrente elétrica; tensão mecânica excessiva; corrente excessiva no cabo; descargas atmosféricas; falha em conexões elétricas e falha no grampo de ancoragem [10].

Medindo-se a resistência elétrica de contato, em laboratório, conforme procedimentos normativos [1] de duas conexões do cabo antigo, com os antigos conectores, concluiu-se que estavam entre 0,50 e 1,5  $\Omega$  - excessivas.

Após as medições iniciais de resistência elétrica das conexões, aplicou-se corrente nas mesmas, na forma como recebidas, sem reapertos dos parafusos. Utilizaram-se correntes inferiores às nominais – 770 A, de apenas 450 A, na frequência de 60 Hz. Os resultados foram faiscantes, conforme mostrado na **Figura 3**.

Outros segmentos das amostras de cabos foram avaliados sob corrente de até 1950 A, em 60 Hz, com conectores semelhantes novos, resultando em resistências elétricas de contato entre 13 e 34  $\mu\Omega$  para o cabo novo e entre 62 e 76  $\mu\Omega$  para o cabo antigo, colorido com a terra do Planalto Central [10]. A temperatura das amostras, durante as medições, foi mantida na faixa de  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ .

Após as análises, concluiu-se pelas seguintes causas para as ocorrências: Corrente excessivas nos fios por falha nas conexões elétricas - mau contato – falta de reaperto nos parafusos que se afrouxaram pelas vibrações naturais



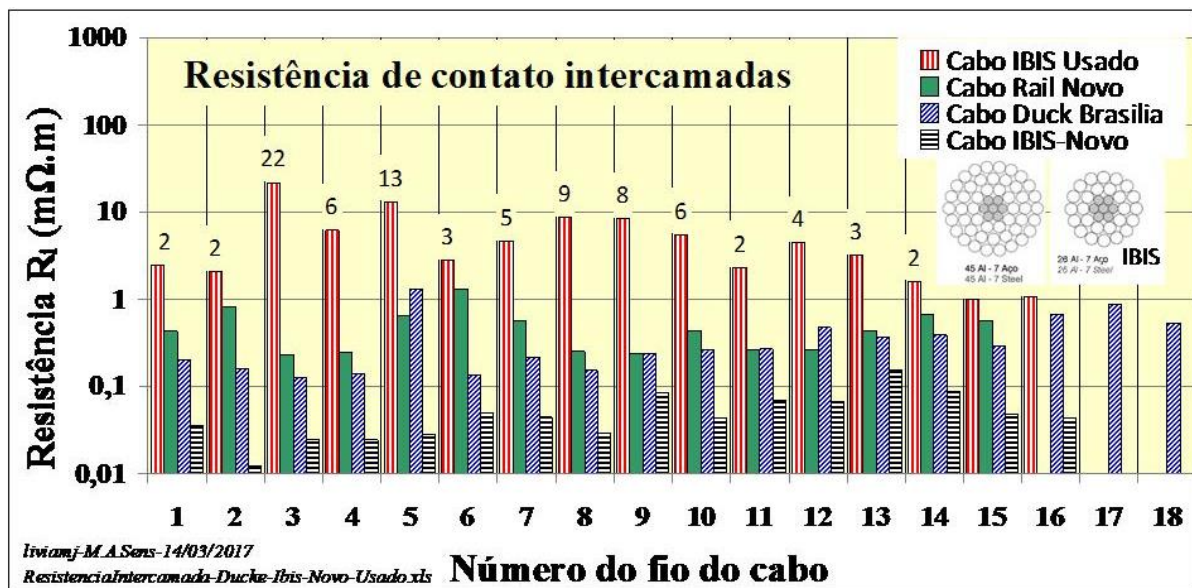
provocadas pelas correntes elétricas e campos magnéticos decorrentes, sobre os parafusos de aço magnético. Em alguns trechos de cabos foram encontrados danos por eletroerosão, pelos mesmos motivos.



**Figura 3 – Passagem de Corrente pela Conexão Defeituosa – faiscante**

### 3.2 Cabo Ibis da CHESF – Ruptura

Um cabo ACSR IBIS da CHESF se rompeu em uma travessia de rio e houve questionamento sobre as causas e sobre a conveniência de emendar ou de substituir o cabo por inteiro, já que estaria operando por 50 anos, aproximadamente. Uma emenda provisória foi efetuada enquanto eram conduzidas as análises no Cepel-Fundão. Amostras do cabo Íbis usado e novo com resistência em 60 Hz de  $172 \mu\Omega/\text{m}$  [7], também foram disponibilizadas para os ensaios. Foram então avaliadas as condutividades elétricas de cada um dos cabos, comparando-se com as especificações normativas. Também se avaliou outros cabos novos e usados, incluindo o de Brasília – Duck e outro comum – Rail. A propriedade escolhida foi a resistência de contato elétrica intercarnada [1], que possibilitaria a avaliação do estado superficial dos fios de alumínio. Os valores encontrados são mostrados na Figura 4.



**Figura 4 – Resistência Elétrica Intercarnadas dos Fios de Cabos Novos e Usados**

Pelos resultados obtidos, concluiu-se que o cabo Íbis estava com resistência elétrica de contatos excessiva, se comparada com os demais, incluindo com o antigo – Duck de Brasília. Concluiu-se, pelos resultados, que o cabo Íbis não estaria em condições de aceitar outras emendas ou terminais e que deveria ser substituído por inteiro.

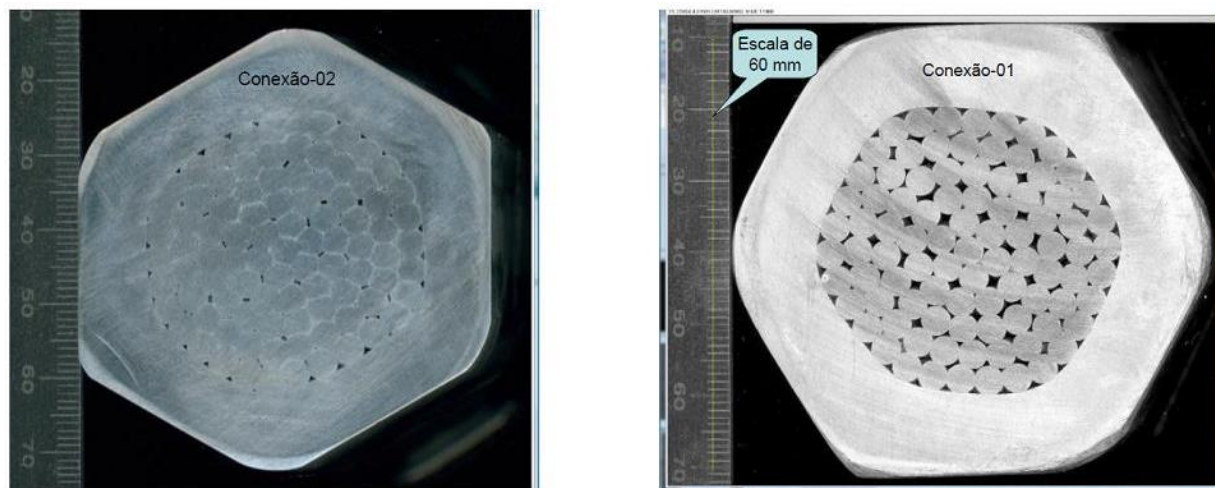
### 3.3 Conexões Elétricas dos Cabos do Complexo do Rio Madeira – CA 2282,8 kCM

Duas amostras de emendas de prolongamento, por compressão, para o CA de 2282,8 kCM foram avaliadas quanto à variação da resistência elétrica e à temperatura sob correntes elevadas, na frequência de 60 Hz, em regime de ciclagem térmica. Estes cabos têm 91 fios de alumínio e não têm alma de aço. A resistência elétrica em corrente alternada é de  $35 \mu\Omega/\text{m}$ , segundo o fabricante [7].

Uma das amostras, a conexão-01 aqueceu mais que a conexão-02. A resistência elétrica da conexão-01 também foi superior à resistência elétrica da conexão-02. Os cabos eram os mesmos e, aparentemente, as conexões também pareciam semelhantes, apenas de taxa de compressão distintas.

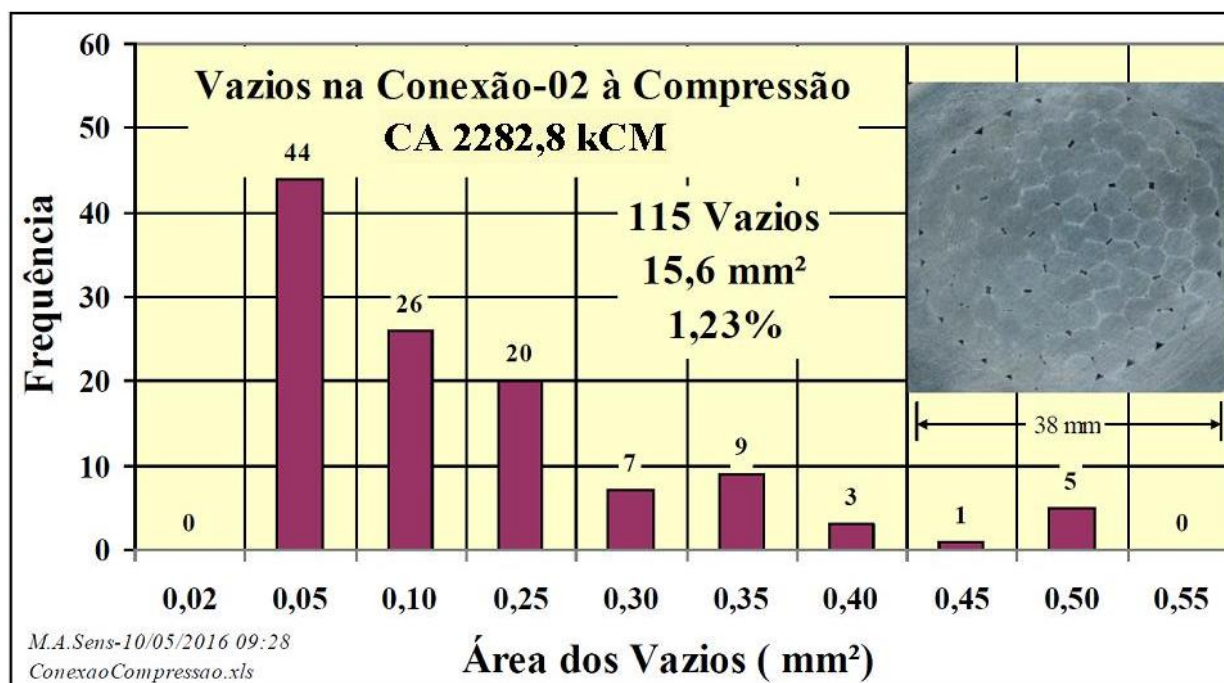
Efetua-se o corte transversal das emendas para análise, conforme [Figura 5](#). Identificaram-se níveis de compactação distintos, justificando-se, portanto, a diferença de comportamento térmico sob elevada corrente. Para o estabelecimento de uma quantificação numérica das diferenças, as imagens foram analisadas para contagem dos vazios e computação das áreas.

A [Figura 6](#) mostra que para a conexão-02 foram encontrados 115 vazios, totalizando área de 15,6 mm<sup>2</sup>, que representa 1,23 % da área total do cabo. Já para a amostra da conexão-01 foram encontrados 116 vazios, totalizando área de 120 mm<sup>2</sup> ou 9,45 % da seção do condutor, conforme ilustrado na [Figura 7](#), que também mostra a distribuição de frequência dos vazios encontrados, por área dos mesmos.



**Figura 5 – Seção Transversal das Conexões por Compressão**

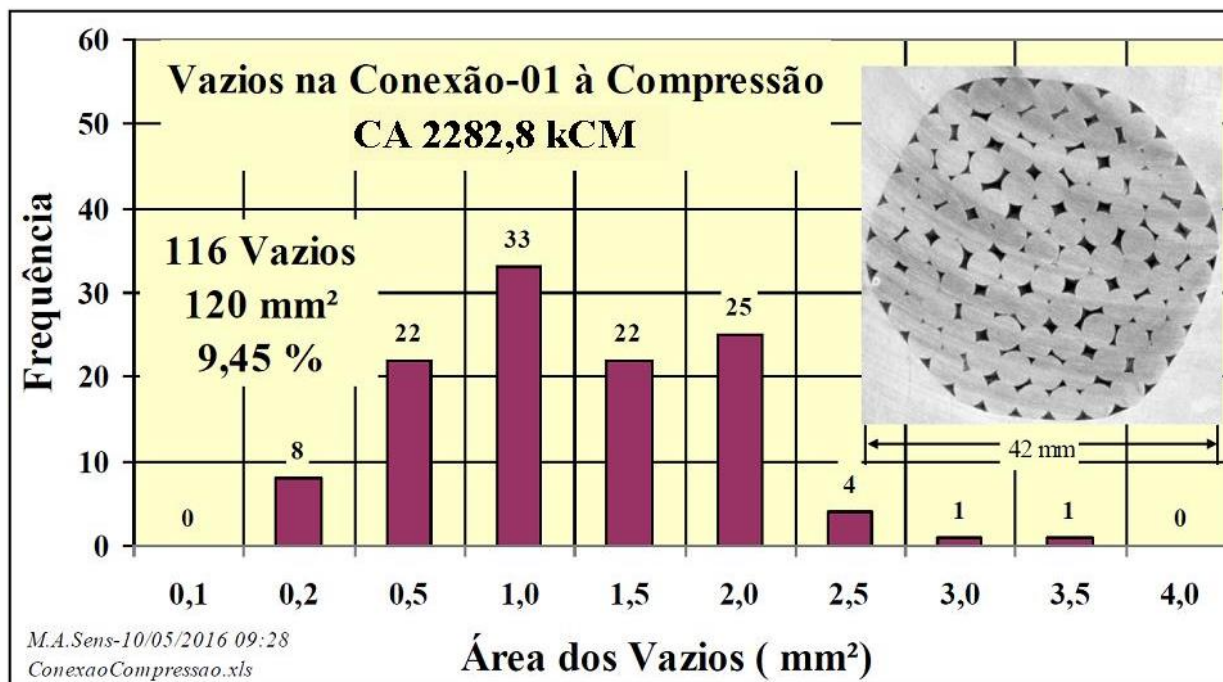
Como pode ser observado na análise da distribuição de frequência dos vazios na conexão-02, na [Figura 6](#), foram encontradas áreas de vazios somente iguais ou inferiores a 0,5 mm<sup>2</sup>, com predominância em pequenas áreas - 44 pontos com área de 0,05 mm<sup>2</sup>.



**Figura 6 – Conexão por compressão do Cabo CA 2282,8 kCM – conexão-02**

Enquanto na análise da distribuição de frequência dos vazios na conexão-01, [Figura 7](#), foram encontradas áreas

de vazios de até 3,5 mm<sup>2</sup>, com predominância em áreas médias, sendo 33 pontos com área de 1,0 mm<sup>2</sup>. No total, esta conexão apresentou 9,45 % de vazios em relação à área do cabo. Esta superioridade nas áreas de vazios justifica a diferença no comportamento térmico com a corrente elevada, em regime cíclico.



**Figura 7 – Conexão por compressão do Cabo CA 2282,8 kCM – conexão-01**

#### 3.4 Cabos Rail e Duck – Resistência em Corrente alternada

Para esclarecer dúvidas sobre a resistência elétrica dos cabos ACSR com três camadas, se poderiam variar com o nível da corrente aplicada, para valores bem acima dos nominais, pelos efeitos indutivos sobre o núcleo de aço [4], ou por outros efeitos, duas amostras de cabo foram utilizadas. Uma amostra de cinco metros de cabo Rail – 954 kCM, para 970 A, usada, e outra de cabo Duck-605 kCM, para 770 A, nova. A resistência elétrica em 60 Hz de ambas as amostras foi medida em níveis de correntes bastante elevados, acima dos valores nominais, 290 %.

Foram utilizadas correntes, em laboratório, na frequência de 60 Hz, superiores a 2 kA para cabo Duck e superiores a 3 kA para o cabo Rail. As temperaturas das amostras foram mantidas dentro das tolerâncias do ambiente do laboratório, mesmo em altas correntes, de  $(23 \pm 2)$  °C, utilizando-se baixa energia térmica para as medições, com duração de apenas quatro ciclos, ou 4/60 s para cada leitura, com intervalo de pelo menos cinco minutos entre medições ou reaplicações de correntes.

Os resultados das variações das resistências com a corrente aplicada para o cabo Rail, assim como a potência dissipada, são mostrados na **Figura 8**. A resistência em 60 Hz deste cabo é de 73  $\mu\Omega/m$ , segundo o fabricante [7].

Os resultados das variações das resistências elétricas com a corrente aplicada para o cabo Duck, assim como a potência dissipada, são mostrados na **Figura 9**. As variações da resistência e da potência dissipada em calor em corrente contínua foram utilizadas como referências. A resistência em 60 Hz deste cabo é de 112  $\mu\Omega/m$ , segundo o fabricante [7].

Os resultados mostraram que o cabo usado varia mais a resistência elétrica em corrente alternada com a corrente aplicada, da ordem de 14 % acima da resistência em corrente contínua, para a corrente de 290 % da corrente nominal, na frequência de 60 Hz, como ilustrado na **Figura 8**, para o cabo Rail. Já no caso do cabo novo, para a mesma condição, ou seja, para 290 % da corrente nominal, a resistência elétrica em corrente alternada subiu apenas 4 % em relação à resistência elétrica em corrente contínua, como ilustrado na **Figura 9** para o cabo Duck.

Este comportamento diferenciado entre amostras de cabo ACSR novo e usado deve-se, certamente, ao envelhecimento superficial do alumínio do cabo, ou seja, com o tempo de uso, dependendo das condições ambientais, a superfície do alumínio degrada-se mais ou menos. E ainda, esta camada de óxido de alumínio constitui-se em material de elevada resistividade elétrica. Com a camada superficial oxidada, a circulação da corrente elétrica entre camadas e entre condutores adjacentes fica reduzida, forçando a passagem da corrente pelas espiras do cabo. As espiras, por outro lado, são mais longas que o próprio cabo e, portanto, apresentam maior resistência elétrica que o cabo compactado. Possivelmente, a maior elevação da resistência elétrica em corrente alternada nos cabos envelhecidos ainda possa ser atribuída à indução magnética na alma de aço, por se tratar de cabo com camadas ímpares. Mas para cabos novos, a constatação desta hipótese ainda se constitui em um desafio para outras investigações experimentais, como aquelas efetuadas na Ontario Hydro, no Canadá [4].



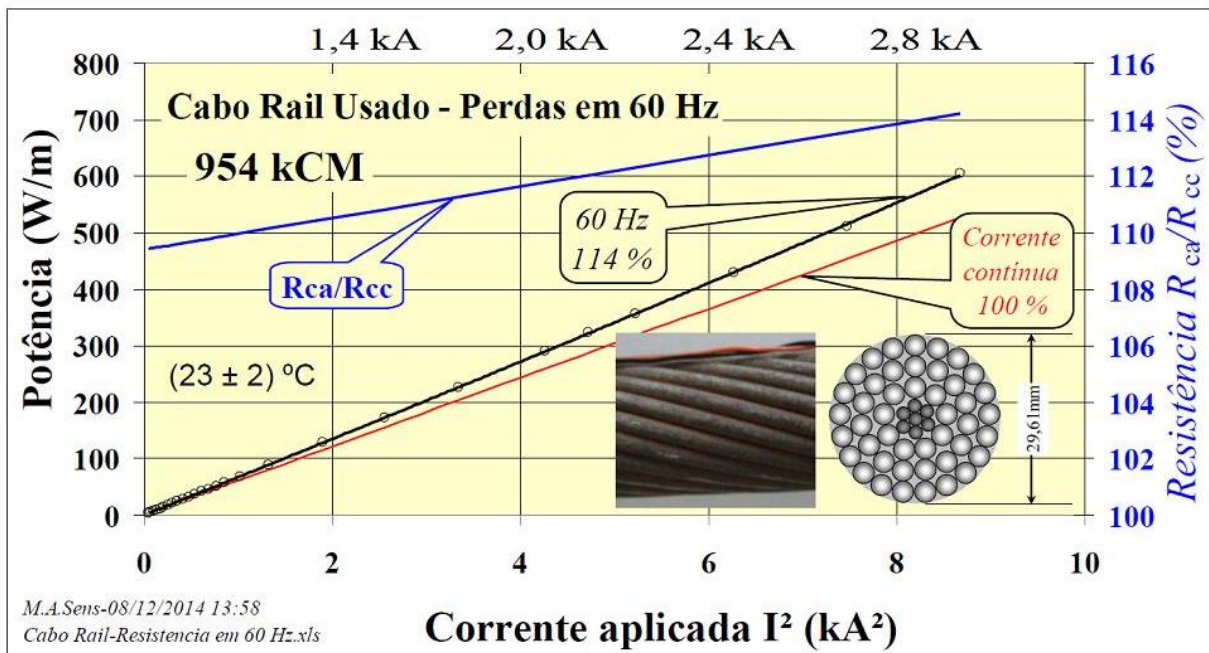


Figura 8 – Resistência Elétrica em Corrente Alternada para o Cabo Rail – Usado

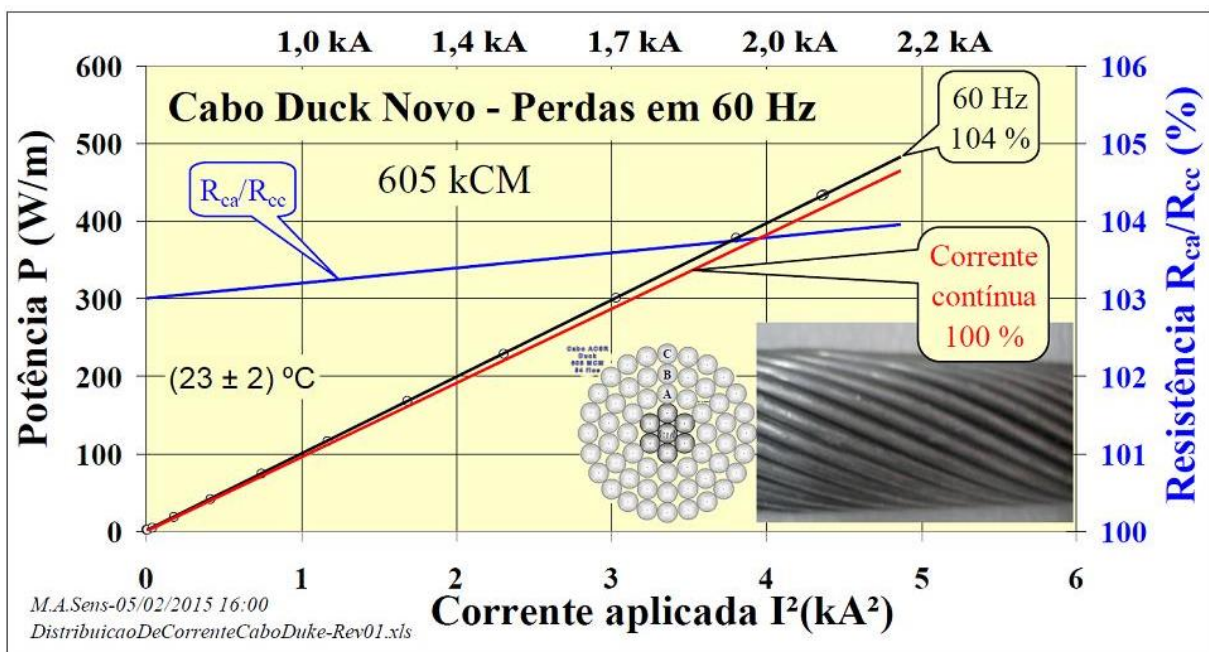


Figura 9 – Resistência Elétrica em Corrente Alternada para o Cabo Duck – Novo

### 3.5 Cabos Termorresistentes versus ACSR

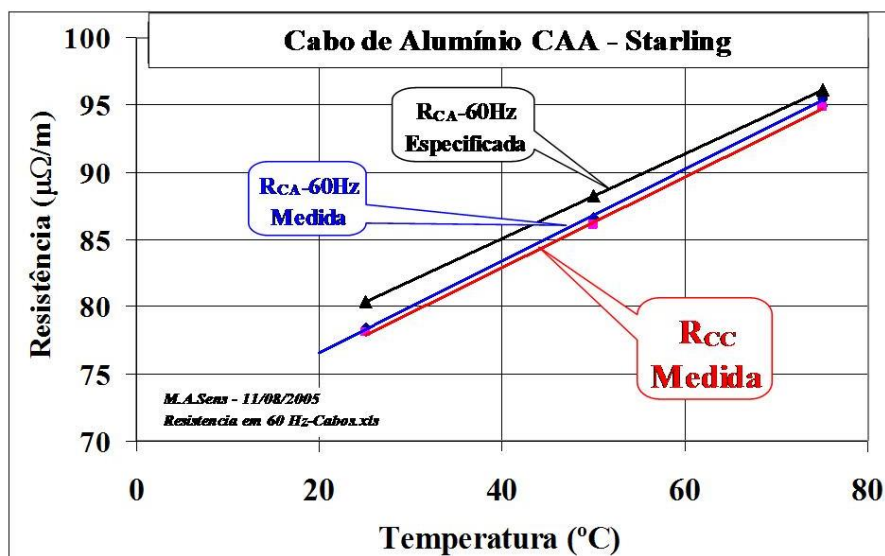
Com a crescente demanda por energia elétrica, observou-se uma nítida tendência pelos cabos termorresistentes de alumínio, em substituição aos cabos convencionais, com alma de aço. Consequentemente, cresceram também as solicitações, tanto pela ANEEL, quanto pelos usuários, para a comprovação das características em corrente alternada de tais cabos.

A medição da resistência elétrica em corrente alternada - CA não constitui tarefa simples, sendo muito comum o erro nestas determinações, pelo uso da relação da tensão pela corrente eficaz <sup>[11]</sup>. Foram avaliadas em laboratório amostras de cabos distintas, Starling e o termorresistente Grosbeak, sob temperaturas de até 180 ° sob correntes de até 1000 A em 60 Hz.

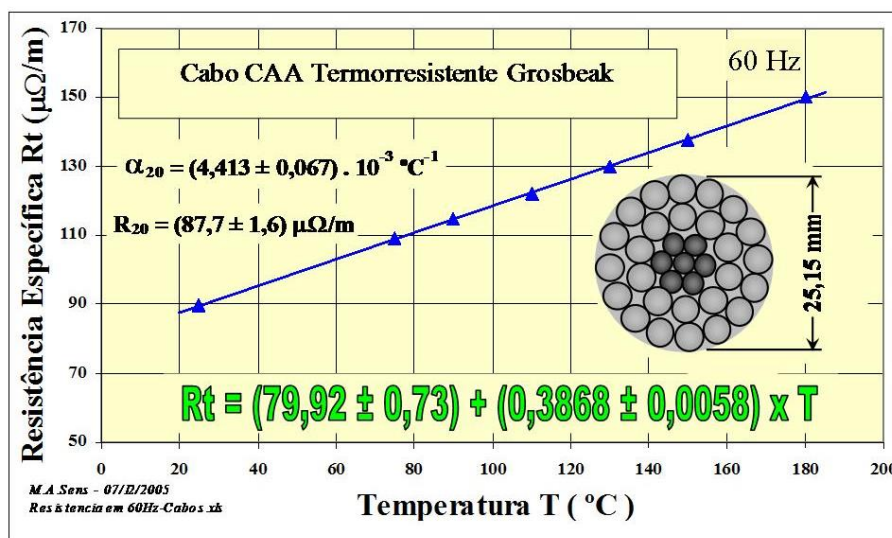
O cabo Starling apresentou valores de resistências em CA entre 0,5 e 1 % superiores às resistências em CC para temperaturas entre 25 e 75 °C, conforme **Figura 10**. Enquanto o Grosbeak, praticamente equivalente ao Starling, apresentou resistências em CA da ordem de 3 a 4 % superiores aos valores em CC. Entretanto, na comparação

das resistências em CA e CC entre os cabos, as resistências em CA do cabo termorresistente Grosbeak são 15 % superiores ao Starling, como mostrado na **Figura 11**, enquanto as resistências em CC são da ordem de 10 % superiores. Logo, as perdas por Efeito Joule do termorresistente é superior ao convencional. Em 130 °C, sob 912 A, a perda específica em CA resultou em 107,8 W/m para o termorresistente, enquanto para o convencional, em 75 °C, sob 700 A, apenas 46 W/m, ou menos que a metade das perdas para o cabo termorresistente.

A diferença entre os dois cabos, praticamente equivalentes em seção de alumínio, é evidenciada pela ampacidade em condições normais de operação – 912 A para o termorresistente Grosbeak e 700 A para o Starling.



**Figura 10 – Resistência Elétrica do Cabo Starling com a Temperatura**



**Figura 11 – Resistência Elétrica em 60 Hz do Cabo Grosbeak com a Temperatura**

#### 4.0 - CONCLUSÃO

Pelos resultados expostos no presente Informe Técnico, concluiu-se que os condutores elétricos utilizados em cabos de alumínio, tanto do tipo reforçado com alma de aço – ACSR, ou sem reforço, de fato não envelhecem em sua condutividade elétrica. Os condutores dos cabos elétricos instalados em 1958 para as obras de Brasília ainda exibem a mesma condutividade elétrica que os condutores dos cabos elétricos atuais, em alumínio. Entretanto, a condutividade elétrica de um cabo completo difere da condutividade elétrica de seus condutores, ou fios individuais. A capacidade de condução de um cabo depende também dos acessórios e da condutividade elétrica entre os fios, e entre as camadas. Embora não tenha sido detectado o envelhecimento dos condutores, pela degradação da condutividade elétrica volumétrica do alumínio, não significa que o cabo, em um todo, não tenha se degradado na capacidade de condução de corrente elétrica com o passar de algumas décadas.

Concluiu-se, pelos resultados aqui apresentados, que as amostras e cabos ACSR oriundas das antigas linhas de transmissão de Brasília, no Planalto Central, de fato não envelheceram como um todo. Os cabos continuam em boa forma, aceitando emendas com baixa resistência elétrica de contato e com baixa resistência elétrica entre



camadas de fios, mesmo sujos com a terra vermelha do Planalto Central. Por outro lado, uma amostra semelhante, retirada de antigas linhas de transmissão da Região Nordeste, mostrou-se absolutamente sem condições de receber emendas e terminais condutores. A condutividade elétrica entre camadas e entre fios foi completamente degradada com o envelhecimento, ao ponto de não aceitar mais qualquer conexão elétrica. Os condutores continuam de boa condutividade, mas a superfície dos mesmos não pode estabelecer bons contatos elétricos com condutores adjacentes. Tais condutores de alumínio exibiam uma elevada oxidação, de cor esbranquiçada, de elevada resistividade elétrica.

A continuidade de uso de tais condutores, com emendas recentes, sobre os fios de superfícies degradadas, implicará mau contato e distribuição de corrente heterogênea entre os fios que constituem o cabo e, neste caso, certamente ocorrerá a fusão de alguns fios pela passagem excessiva da corrente, ou ocorrerá a eletroerosão entre fios adjacentes, em constante trepidação e com potencial da ordem de alguns volts. Esta tensão entre os fios surge, justamente pela má distribuição da corrente entre os mesmos.

Resumindo, a insistência pela continuidade dos cabos envelhecidos superficialmente nas linhas de transmissão de energia elétrica os levará ao colapso breve, após receber novas emendas ou terminais. Numa eventual ruptura, a melhor opção, depois de constatado o envelhecimento, é a substituição por novos cabos.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASTM B539 - 02 "Standard Test Methods for Measuring Resistance of Electrical Connections (Static Contacts)", 2013.
- [2] CEB "Histórico da CEB – A Construção de Brasília" <http://www.ceb.com.br/index.php/institucional-ceb-separator/historia>, acesso em 25/02/2017.
- [3] Furnas, Edição Especial - 50 Anos de Furnas - Revista Furnas - Ano XXXIII - nº 337 - Fevereiro 2007 - [http://www.furnas.com.br/arqtrab/ddppg/revistaonline/linhadireta/rf337\\_57-67.pdf](http://www.furnas.com.br/arqtrab/ddppg/revistaonline/linhadireta/rf337_57-67.pdf), acesso em 28/02/2017
- [4] J. S. Barrett and O. Nigol - Ontario Hydro-CA; C.J. Fehervari and R. D. Findlay – kCMaster University-Ontario-CA – "A New Model of AC Resistance in ACSR Conductor", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. PWRD-1 N. 2, April 1986.
- [5] Martins, Ildebrando José Pereira, Gerente - Divisão de Manutenção Eletromecânica Brasília, mensagem repassada em 28/03/2012 11h17min para Ricardo Perez Correa - Furnas, com assunto: "Cabos condutores da linha Brasília Sul Pirineus"
- [6] Nexans – "Cabos de Alumínio Nu com Alma de Aço - CAA (Série kCMIL)", <http://www.nexans.com.br/eservice/navigation/NavigationFamily.nx?OID=541&CZ=SouthAmerica#paramSearch>, acesso em 03/10/2012.
- [7] Nexans, Catálogo de Produtos, disponibilizado em [http://www.nexans.com.br/eservice/Brazil-pt\\_BR/pdf-family\\_-74539/Cabos\\_de\\_Alum\\_nio\\_Nu\\_CA\\_Serie\\_kCMIL\\_.pdf](http://www.nexans.com.br/eservice/Brazil-pt_BR/pdf-family_-74539/Cabos_de_Alum_nio_Nu_CA_Serie_kCMIL_.pdf), acesso em 26/02/2017.
- [8] Peralta, José Márcio, Fax referência DEE.O.062.2006, de 11/07/2006 – Tratando da liberação da linha de transmissão de Brasília Sul – Pirineus, encaminhado ao José Carlos Sili Salomão – ONS.
- [9] Resende, Gerson Vale de, DAT.O - Departamento de Equipamentos e Linhas de Transmissão de Alta Tensão, mensagem eletrônica encaminhada por: gersonvr@furnas.com.br para: Ildebrando José Pereira Martins <imartins@furnas.com.br>, com o assunto "Levantamento de Corrente da LTBSPS" em 29/03/2012 13:09.
- [10] Sens, M. A. e Lisboa, Maurício Barreto "Análise Pericial em Cabos e Conexões de Alumínio Retirados de Linha de Transmissão de Energia Elétrica Instalados em Brasília em 1958 – Furnas" Relatório Técnico Cepel Nº DLF – 33626/2012, para Furnas Centrais Elétricas S.A., Rio de Janeiro – RJ, 18 páginas, 2012.
- [11] Sens, M. A. e Ueti, Edson, "Investigações Experimentais em Análise de Materiais Destinados às Terminações de Cabos de Alumínio para Transmissão de Energia Elétrica", Laboratórios de Propriedades Elétricas e Magnéticas do Cepel-Elektrobras-Fundão, Rio de Janeiro – RJ. Trabalho não especificamente publicado, constante de relatórios técnicos confidenciais, de Clientes, 1976 a 2015.
- [12] Serra, E. T. "Análise Pericial de Falha em Materiais Utilizados em Equipamentos Elétricos" Coletânea de Casos – CEPEL – Rio de Janeiro-2008, Volume 2, página 109.
- [13] Soares, G. Fleury W. e Sens, M. A. "Falha em conector de expansão de uma subestação de Furnas", Relatório Técnico CEPEL ACME-1007/1995.
- [14] W. H. Preece, "On the heating effects of electric currents." Proc., Royal Soc. vol. 36, pp467-472, 1884.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Márcio Antônio Sens, nascido em 07/07/1951, em Ituporanga – SC, Técnico em Eletromecânica (ETFSC-1970), Engenheiro Eletricista e de Segurança (UFSC-1975) é pesquisador da Eletrobras - Cepel, no Rio de Janeiro – RJ, onde atua desde fevereiro de 1976 em estudos relacionados aos materiais elétricos condutores, dielétricos e magnéticos e também em análise periciais destinadas à identificação de causas de falha em equipamentos e instalações ligadas ao Setor Elétrico Nacional. O Autor também é professor de Materiais Elétricos, Medidas Elétricas, MS-Excel para Engenharia e Transformadores Elétricos no Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Fluminense, em Niterói – RJ, onde atua desde março de 1984.