



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

FI/GLT/32
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

**SISTEMAS DE CABOS SUBTERRÂNEOS EM ALTA TENSÃO
INSTALADOS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 10 ANOS**

Carla D. Peixoto(*)
LIGHT SESA

Júlio Cesar. R. Lopes
INOVATEC Eng.^a e Cons.

Nádia H. G. R. de Louredo
EDS Eng.^a e Cons.

Eduardo Karabolad Filho
EDS Eng.^a e Cons.

RESUMO

Pesquisa entre os concessionários de energia elétrica no Brasil, coletando experiências e informações sobre a instalação de cabos subterrâneos nas tensões ≥ 69 kV, nos últimos dez anos. O objetivo compreendeu: coleta e avaliação dos resultados dos questionamentos aos concessionários, obtendo-se conclusões e recomendações sobre a implantação desse tipo de cabos nas diferentes cidades brasileiras.

Este informe técnico apresenta a compilação dos resultados e norteia a implantação de novos cabos subterrâneos, compartilhando as melhores práticas, as principais dificuldades enfrentadas nas cidades pioneiras, e como estas particularidades regionais podem interferir nos projetos, infraestrutura civil, montagem eletromecânica e, consequentemente, no custo.

PALAVRAS-CHAVE

Cabos Subterrâneos, Isolamento XLPE, Licenciamentos, Infraestrutura Civil, Método Não Destrutivo (MND).

1.0 - INTRODUÇÃO

O Brasil possui cerca de 1.676,00 km de cabos subterrâneos operando nas tensões ≥ 69 kV. Nesse tipo de instalação 83% encontra-se na Região Sudeste, principalmente nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Apesar dessa concentração, cidades em outras regiões do país, que sequer possuíam sistemas de cabos subterrâneos, iniciaram a sua implantação nos últimos dez anos.

Nesse novo panorama, as Regiões Sul e Centro Oeste foram reponsáveis por projetos relevantes nas classes de tensão 138 e 230 kV.

2.0 - LEVANTAMENTO DE DADOS

2.1 Metodologia

Foi criado um grupo de trabalho pelo Comitê de Estudo Nacional – CE B1 – que estabeleceu os seguintes termos de referência para o levantamento de dados dos cabos subterrâneos de alta tensão instalados no período de 2004 a 2013:

- a. Coletar a experiência e a informação das diferentes concessionárias brasileiras, relativas a infraestrutura civil e a instalação;

- b. Interpretar e avaliar os resultados obtidos para conclusão e elaboração de recomendações para as novas instalações nas cidades brasileiras;
- c. Guiar as concessionárias brasileiras na sua implantação conforme as melhores praticas atingidas pelas concessionárias pioneiras;
- d. Relatar as principais dificuldades e problemas na obtenção dos licenciamentos ambientais e municipais para autorização desse tipo de instalação nas principais cidades do país.

2.2 Pontos relevantes

Para atingir os resultados propostos, o grupo de trabalho preparou e enviou três questionários para a coleta dos dados e mapeamento geral dos principais estados brasileiros que utilizam esse tipo de cabos de alta tensão, cujos principais tópicos estão discriminados a seguir:

- a. Identificar os comprimentos totais dos cabos subterrâneos quando comparados aos cabos aéreos até o ano de 2013, em cada classe de tensão usada no Brasil;
- b. Descrever os projetos de cabos subterrâneos realizados no período de 2003 a 2013, mostrando suas principais características e dificuldades na obtenção das licenças e na sua construção;
- c. Relatar como o custo da linha é influenciado pela região na qual será instalado;
- d. Detalhar as informações dos projetos de cabos significativos.

3.0 - CARACTERÍSTICAS DOS CIRCUITOS SUBTERRÂNEOS INSTALADOS

3.1 Extensão e Classe de Tensão

Os resultados da pesquisa são resumidos neste item e representam a distribuição geográfica da quantidade total de cabos subterrâneos e aéreos existentes, nas tensões iguais ou superiores a 69 kV, no período de análise mencionado anteriormente, ver a Figura 1 e a Tabela 1.

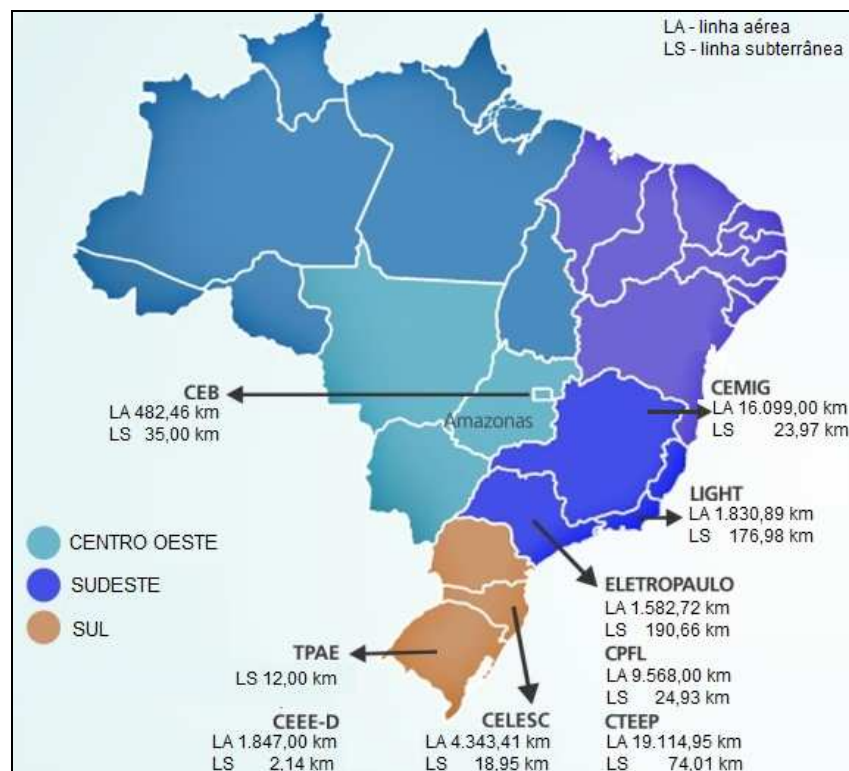


Figura 1 – Mapa

Tabela 1 – Total do comprimento de cabos aéreos e subterrâneos de cada concessionária até o ano de 2013

CONCESSIONARIA	TENSÃO (kV)	CONSUMIDORES (Milhões)	EXTENSÃO (km.circuito)	
			AÉREO (LA)	SUBTERRÂNEO (LS)
Eletropaulo	88	5,80	1.582,72	190,66
ISA-CTEEP	69	60,00	2,02	0,00
ISA-CTEEP	88		1.480,70	0,00
ISA-CTEEP	138		9.023,83	0,00
ISA-CTEEP	230		1.432,86	19,50
ISA-CTEEP	345		671,23	54,51
ISA-CTEEP	440		6.504,31	0,00
LIGHT SESA	138	4,00	1.830,89	176,98
CEMIG-D	138	7,50	16.099,00	23,97
CPFL ENERGIA	88	6,40	9.568,00	24,93
TPAE	230	-	-	12,00
CEEE-D	69	4,00	1.847,00	2,14
CEB	138	0,94	482,46	35,00
CELESC	138	2,50	4.343,41	18,95

A tabela 2 e a figura 2 indicam o crescimento das instalações em cabos subterrâneos durante os últimos 10 anos, comparando-se os dados de 2013 com dados semelhantes coletados num trabalho em anos anteriores a 2003.

Tabela 2 – Extensão total de cabos subterrâneos AC instalados até 2003 e até 2013

REGIÃO	CONCESSIONARIA	CABOS SUBTERRÂNEOS (km.circuito)	
		2003	2013
SUDESTE	ELETROPAULO	171,71	190,66
	ISA-CTEEP	71,23	74,01
	LIGHT SESA	158,10	176,98
	CEMIG-D	8,1	23,97
	CPFL ENERGIA	19,23	24,93
CENTRO OESTE	CEB	13,15	35,00
SUL	TPAE	-	12,00
	CEEE-D	-	2,14
	CELESC	5,93	18,95

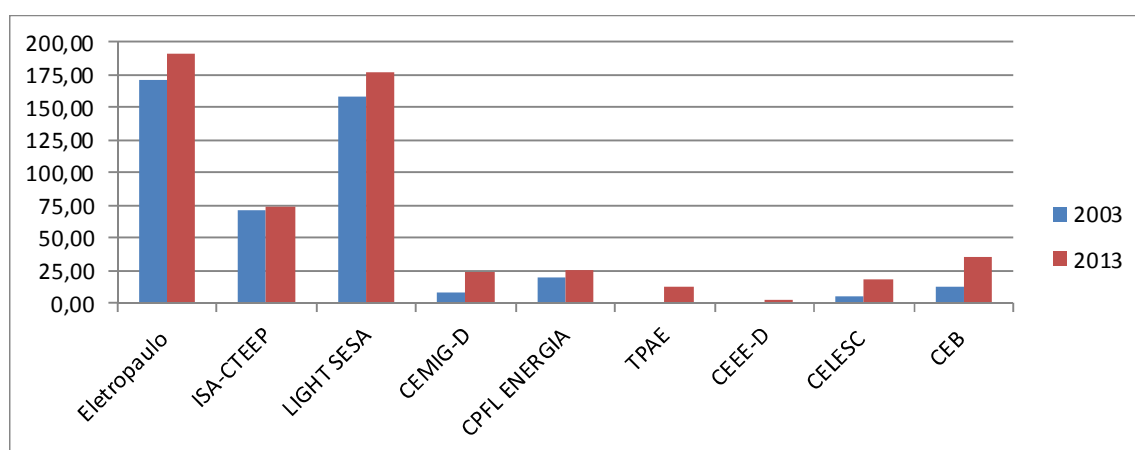


Figura 2 – Gráfico com a variação em comprimento instalado nos anos de 2003 e 2013

A figura 3 mostra o comprimento total de cabos subterrâneos por classe de tensão até o ano de 2013. Observa-se que a maior representatividade é a da classe de tensão 138kV e que o Brasil não tem cabos subterrâneos nas

tensões superiores a 345 KV.

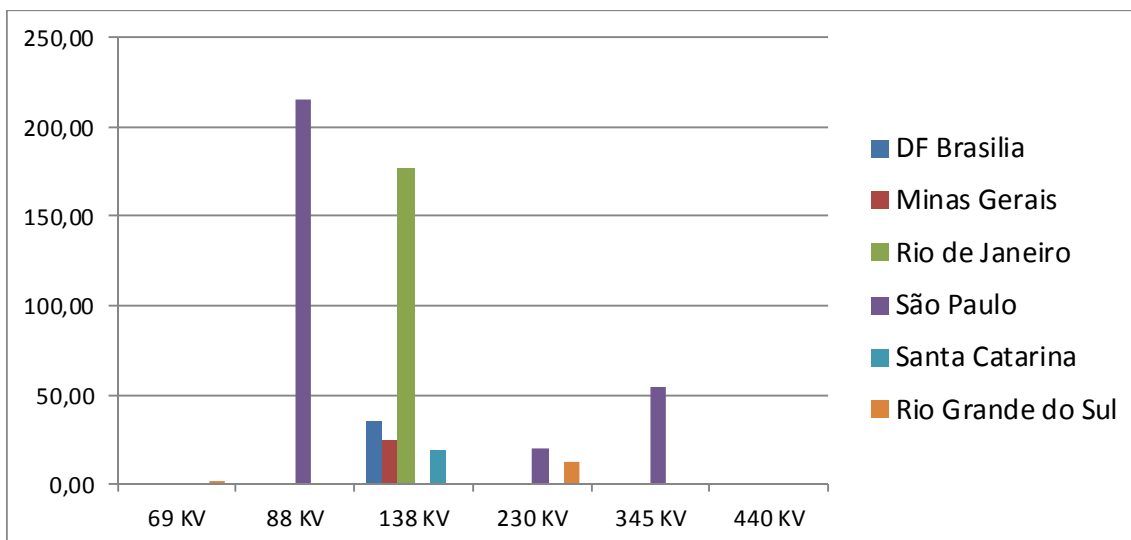


Figura 3 – Extensão em km dos circuitos em cabos subterrâneos por cada classe de tensão

3.2 Capacidade Instalada e Tipos de Cabos Subterrâneos

Durante o período de análise, a capacidade instalada em sistemas subterrâneos, no Brasil, ficou em torno de 15.699 MVA. Sendo que 95% dessa capacidade ocorreu na Região Sudeste. Os tipos de materiais mais empregados nos cabos subterrâneos encontram-se nas figuras 4 e 5.

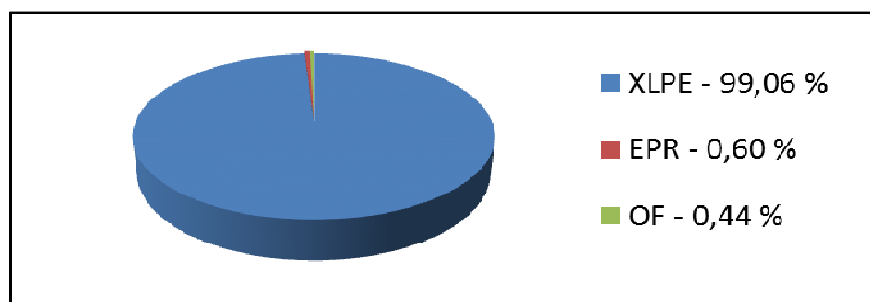


Figura 4 – Tipo de isolamento

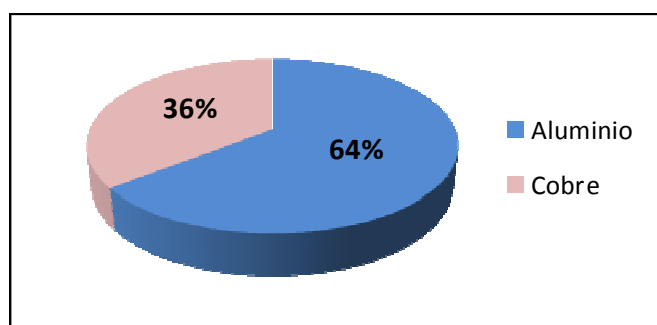


Figura 5 – Tipo de condutor

4.0 - LICENCIAMENTO SISTEMAS SUBTERRÂNEOS DE ALTA TENSÃO

4.1 Ambiental

Considerando as nove concessionárias consultadas, 67% delas preparam um licenciamento completo obtendo a licença previa, de instalação e operação pelo órgão ambiental municipal ou estadual, dependendo da criticidade e abrangência da rota. Os outros 33% elaboram relatório compacto para obtenção das permissões ambientais. O licenciamento ambiental é usual em quase todas as maiores cidades brasileiras. Importante ressaltar que esses certificados não são restritos aos ativos elétricos, abrangendo todas as interferências com o meio ambiente.

As companhias que necessitam do licenciamento completo de suas instalações subterrâneas são: LIGHT, CPFL, TPAE, CEEE-D, CEB e CELESC.

CEMIG, ELETROPAULO e CTEEP preparam relatórios simplificados sobre os impactos ambientais, apesar disso estas duas últimas devem atender ao nível restrito da emissão de campo eletromagnético (EMF) de 3 μ T, estabelecido por decreto Municipal da cidade de São Paulo. O Brasil possui lei nacional sobre a EMF que está de acordo com os limites recomendados pela Comissão Internacional de Proteção contra Radiação não Ionizantes (ICNIRP) – 200 μ T.

4.2 Órgãos Públicos Municipais

Um dos aspectos mais críticos do projeto e construção da maioria das instalações subterrâneas constitui-se na obtenção das permissões e dos licenciamentos necessários. A rota, a profundidade, a metodologia da obra de infraestrutura civil e o horário de trabalho são analisados, e só autorizados, pelos departamentos públicos de Obras, Tráfego, Rodovias Federais, Rios, Drenagem e até da Marinha, em certos casos, quando revistos pelo concessionário. Algumas cidades também precisam da autorização e licença do órgão referente ao Patrimônio Histórico e Artístico Nacional e / ou das entidades / órgãos responsáveis por monumentos e Praças.

Nas instalações subterrâneas de alta tensão em São Paulo, o concessionário de energia depois de obter o licenciamento do órgão público, necessita pagar ao município pelo uso do subsolo.

No Rio de Janeiro, essas licenças só são obtidas quando o concessionário garantir a adoção de métodos construtivos não destrutivos para travessia das estradas e avenidas de tráfego intenso, ferrovias e canais.

5.0 - INFRAESTRUTURA CIVIL

O caminho crítico na implantação de cabos subterrâneos de alta tensão compreende a implantação da infraestrutura civil e seus transtornos à população e trânsito locais.

Para mitigar tais problemas com as autoridades responsáveis pelo controle das obras e do trânsito nas áreas urbanas, as concessionárias de energia vêm empregando métodos não convencionais, com maior frequência, em trechos críticos da rota de seus cabos subterrâneos. Trata-se da execução de túneis ou micro túneis e são denominados métodos não destrutivos. Esses túneis podem ser mecanizados, tais como a perfuração horizontal direcional (HDD) e a cravação pneumática de tubos de concreto e ou metálicos ("pipe jacking"), ou não mecanizados, como a escavação sequencial convencional (NATM - New Austrian Tunneling Method).

Com relação ao tipo de dutos normalmente empregados para os cabos subterrâneos, 67% dos concessionários utilizam dutos corrugados de polietileno de alta densidade envoltos em "backfill". Nos últimos dez anos os outros 33% dos concessionários, usam o envelopamento dos dutos em concreto por necessidade de abertura e fechamento de valas com rapidez e por questões de segurança. Nas cidades densamente urbanizadas a maioria das falhas em cabos subterrâneos ocorre por atividades de terceiros externas à instalação.

6.0 - FATOR CUSTO

Torna-se relevante observar que em algumas cidades a infraestrutura civil representa o maior custo do empreendimento. Esse custo é significativo devido ao congestionamento de interferências no subsolo com tubulações de terceiros, nem sempre em bom estado, nível do lençol freático aflorado, travessias de avenidas e rodovias de tráfego intenso, necessidade de travessias de canais e até de regiões de comunidades carentes.

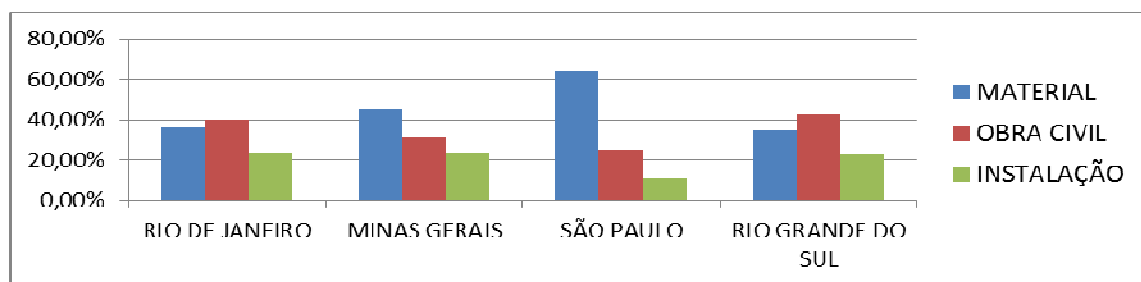


Figura 6 – Percentual de custo comparando-se o fornecimento de materiais, infraestrutura civil e a instalação

7.0 - PROJETOS SIGNIFICATIVOS

7.1 Região Sudeste

7.1.1 Linhas Subterrâneas p/ Subestação BH Centro II

Construção da nova subestação BH Centro II em substituição a existente Centro I em operação desde 1970, localizada no centro da cidade de Belo Horizonte, suprida em 138kV por duas linhas de 75 MVA, uma de 150 MVA e previsão de duas linhas futuras com 300MVA cada uma.

Na área de construção dessa nova subestação foram encontradas tubulações de diversos concessionários de serviços públicos em diferentes profundidades tornando-se praticamente impossível achar espaço para as cinco linhas. Esse fato exigiu um estudo criterioso de ampacidade x profundidade para o posicionamento das 3 novas linhas com cabos subterrâneos isolados em XLPE, duas com 0,16 km, 75 MVA cada uma, e uma com 0,30 km, 150 MVA, em substituição aos cabos subterrâneos isolados em papel impregnado em óleo e a adoção de emendas de transição para conexão aos trechos dos circuitos não removidos.

7.1.2 Linha Subterrânea Juscelino Kubitschek

Implantação de uma linha subterrânea na cidade de São Paulo, em 138kV, 4,0 km, 120 MVA cada uma e aterramento tipo crossbonding para redução das perdas por correntes circulantes. Essa linha atravessou áreas de alta concentração de estabelecimentos comerciais tais como lojas, grandes prédios de escritórios, hospital e shoppings luxuosos e travessias de vias de tráfego altamente congestionado.

A obra de infraestrutura civil desta linha foi um grande desafio e só foi liberada durante o período noturno. Houveram vários trechos da rota construídos através de método não destrutivo, especificamente o método de perfuração horizontal direcional. Nos trechos escavados em método convencional, a céu aberto, foram instalados dutos envoltos em backfill especial compactado e o restante completado com solo natural, seguidos de placas de concreto, subbase e asfalto, com o objetivo de liberar a parte usada da pista o mais rápido possível. As caixas de emendas tiveram seus projetos alterados com a redução da largura de modo a interferir o mínimo possível com as pistas de circulação de veículos.

7.1.3 Linhas Subterrâneas p/ Reforço de Energia e Atendimento à Copa do Mundo e aos Jogos Olímpicos

Compreendeu a instalação até agora de quatro linhas subterrâneas em 138 kV na cidade do Rio de Janeiro em regiões altamente urbanizadas da cidade. Uma linha de 5,3 km Brás de Pina/Fundão, 210 MVA para aumento da confiabilidade no suprimento aos Aeroporto Internacional e Ilha do Governador, uma linha de 2,41 km Carandá / Piedade, 120 MVA, atendendo ao critério de alimentação dupla para o bairro de Piedade onde encontra-se o Estádio João Havelange e duas linhas de 3,34 km, 240MVA cada uma, para a suprir a nova subestação Gardênia da qual partirá o circuito principal de alimentação da Subestação Olímpica.

Desde 2012 foram instalados na cidade do Rio de Janeiro 14,51 km de linhas subterrâneas em 138 kV e até 2015 mais duas linhas subterrâneas serão instaladas para alimentação do Parque Olímpico.

O caminho crítico desses empreendimentos em cabos subterrâneos é a obra da infraestrutura civil. Em torno de 25% da extensão das linhas mencionadas foram construídas através do método não destrutivo. O método escolhido também foi o de perfuração horizontal direcional. O maior comprimento atingido do trecho em MND nessas obras foi de 147 m e o maior lance entre caixas de emendas totalizou 783m. As dificuldades construtivas vão do congestionamento do subsolo, instabilidade do terreno, lençol freático aflorado e liberação do licenciamento da obra. Nos últimos dez anos empregam-se dutos corrugados de polietileno de alta densidade envelopados em concreto, recobertos com pó de pedra compactado, fitas de sinalização e advertência em polietileno, subbase e asfalto, para dar maior agilidade e segurança a instalação, pois a maior incidência de danos à esses cabos são ocasionados por atividades de terceiros.

7.2 Região Sul

7.2.1 Linha Mista Biguaçu - Desterro

Instalada no Estado de Santa Catarina interliga o continente à ilha de Santa Catarina, abrange trecho aéreo de 19 km e trecho submarino, com extensão de 4,65 km em 230 kV. Trata-se de importante conexão ao Sistema Interligado Nacional. O trecho submarino possui o maior comprimento no Continente Sul Americano.

7.2.2 Linha Subterrânea PAL 9 – PAL 4

Implantada na cidade de Porto Alegre, com 12 km de extensão em 230 kV. Trata-se da primeira linha licitada pela ANEEL. Solução técnica interessante para aumento da confiabilidade com a instalação de circuito único com quatro cabos subterrâneos – 3 em operação e 1 reserva. Essa linha apresenta sistema de aterramento tipo crossbonding para mitigação das perdas.

7.3 Região Centro Oeste

7.3.1 Linha Mista Mangueiral / Brasília Centro

Linha em 138 kV com extensão de 14,38 km no trecho aéreo , 4,62 km no subterrâneo e 1,65 sublacustre para travessia do Lago Paranoá. Solução mista adotada para mitigação de custos.

8.0 - CONCLUSÃO

Nos últimos dez anos houve um aumento da dificuldade de instalação de novas linhas aéreas de alta tensão nas áreas urbanas, quer sejam de distribuição ou transmissão, considerando as questões ambientais e as grandes pressões do governo e das associações de moradores. Isso acarretou o crescimento na instalação de linhas subterrâneas, e até de linhas mistas, não só na Região Sudeste, como também, nas Regiões Sul e Centro Oeste. Aliado a esse fato, os crescentes investimentos e os grandes eventos internacionais no país contribuíram para a adoção das soluções em cabos subterrâneos nessas áreas.

A maior parte das novas instalações subterrâneas encontra-se na faixa de 88 a 138 kV, apesar do maior crescimento relativo ocorrer na classe de tensão 230 KV.

Com o objetivo de mitigar as questões ambientais, as linhas nas classes de tensão ≥ 69 kV são preferencialmente instaladas nas vias de circulação de veículos onde não há permanência da presença das pessoas e mantêm-se os limites de emissão do campo magnético dentro dos limites estabelecidos pelo ICNIRP, os quais são endossados pela Organização Mundial de Saúde.

Muitas vezes a infraestrutura civil constitui-se no caminho crítico para implantação dessas linhas subterrâneas devido às dificuldades e restrições nos licenciamentos, tráfego pesado e congestionamento do subsolo nos grandes centros urbanos. O emprego dos métodos não destrutivos ajudam a reduzir parte desses problemas. Dentre os métodos não destrutivos mencionados no item 5 o mais usual é o da perfuração horizontal direcional, pois, apresenta melhor relação custo x benefício.

9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Statistics of Failures on Underground High Voltage Power Cables in Brazil, B1_110_2010, Cigre Session, Paris, 2010;
- (2) Statistics of AC Underground Cables in Power Networks, Working Group B1.07, CIGRE Technical Brochure 338, 2007.

10.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

10.1 Carla Damasceno Peixoto

- Niteroi, RJ, 1959;
- Graduação em eng^a elétrica na Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 1982. Pós graduação em Sistemas Elétricos de Potência na COPPE UFRJ, 1984;
- Engenheira Senior da Gerência de Projeto e Construção da Alta Tensão da empresa LIGHT SESA, atua desde 1984 no licenciamento, orçamento, projeto, contratação, gerenciamento da obra, cadastro de ativos e programas de P&D da ANEEL em empreendimentos relativos às linhas de alta tensão subterrâneas; membro do Comitê de Estudos de Cabos Isolados do CIGRE – CE B1; participação, publicação e apresentação de inúmeros trabalhos, contribuições e informes técnicos como autor e coautor em Seminários, Congressos e Workshop Técnicos Nacionais e Internacionais: CIGRE, SNPTTE, SENDI, ERIAC, Redes Subterrâneas, Túneis e etc.

10.2 Eduardo Karabolad Filho

- São Paulo, SP, 1951;
- Graduação em eng^a elétrica na Faculdade de Engenharia São Paulo – FESP, 1982;
- Atuou no Departamento de Projeto de Linhas de Transmissão na LIGHT / Eletropaulo, 1974 a 1997, e Diretor da EDS Engenharia e Consultoria Ltda. desde 1997, onde desenvolve trabalhos e gerenciamento de projetos e viabilidades nas áreas de linhas de transmissão aéreas e subterrâneas nas tensões de 69 a 345 kV para as principais Concessionárias Brasileiras e grandes consumidores; membro do Comitê de Estudos de Cabos Isolados do CIGRE – CE B1 e Secretário no período de 1995 a 2014; participação, publicação e apresentação de inúmeros trabalhos, contribuições e informes técnicos como autor e coautor em Seminários, Congressos e Workshop Técnicos Nacionais e Internacionais: CIGRE, SNPTTE, ERIAC, Redes Subterrâneas, e etc.

10.3 Julio Cesar Ramos Lopes

- São José do Rio Preto, SP, 1954;
- Graduação em eng^a elétrica: Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1976. Pós-graduação: Fundação Instituto de Administração da Faculdade de Economia e Administração da USP, São Paulo, 2000.
- Eng.^o e Gerente do Planejamento e Eng.^a da AES Eletropaulo, atuou 31 anos em empreendimentos de subestações e linhas de transmissão aéreas/subterrâneas-138 a 345 kV. Há 8 anos sócio diretor da Inovatec Consult^a e Eng.^a e sócio da TAG Inovações Tecnológicas, consultoria, eng.^a, estudos e projetos nas áreas de linhas, subestações, geração distribuída e projetos de P&D da ANEEL; representante e coordenador do Comitê de Estudos de Cabos Isolados-CIGRE–CE B1-2008 a 2014; participação, publicação e apresentação de inúmeros trabalhos, contribuições e informes técnicos como autor e coautor em Seminários, Congressos e Workshop Técnicos Nacionais e Internacionais: CIGRE, SNPTTE, SENDI, CIER, ERIAC, CIRED, EPRI, Redes Subterrâneas, e etc.

10.4 Nadia Helena Gama Ribeiro de Louredo

- Itajubá, MG, 1952;
- Graduação em eng^a elétrica: Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie – São Paulo, 1976;
- Atuou na LIGHT –Serviços de Eletricidade S.A. / Eletropaulo –Eletricidade de São Paulo, de 1976 a 1998 - Departamento de Projetos de Linhas de Transmissão; atualmente Engenheira Especialista em Projetos de Linhas de Transmissão Subterrâneas em Alta e Extra Alta Tensão e Engenheira Consultora da EDS Eng^a e Consultoria Ltda; membro do Comitê de Estudos de Cabos Isolados do CIGRE – CE B1 e Secretária deste comitê a partir de 2015; participação, publicação e apresentação de inúmeros trabalhos, contribuições e informes técnicos como autor e coautor em Seminários, Congressos e Workshop Técnicos Nacionais e Internacionais: CIGRE, SNPTTE, ERIAC, Redes Subterrâneas, e etc.