



## **Grupo de Estudo de Linhas de Transmissão-GLT**

### **LINHAS DE TRANSMISSÃO COM CABOS ISOLADOS DE ALTA E EXTRA ALTA TENSÃO NO BRASIL: UMA REALIDADE COM DEMANDA CRESCENTE**

**JOAO HENRIQUE MAGALHAES ALMEIDA (2); DOURIVAL DE SOUZA CARVALHO JUNIOR (1); SERGIO FELIPE FALCÃO LIMA (1); FABIANO SCHMIDT (1); CARLOS BELMIRO CAMPINHO DE CARVALHO (2); EPE (1); ONS (2);**

#### **RESUMO**

Nos últimos anos, devido à crescente dificuldade de implantação de linhas de transmissão aéreas nas regiões metropolitanas mais populosas, houve um aumento da demanda por linhas de transmissão subterrâneas em empreendimentos da Rede Básica. Apesar de ser uma realidade no Sistema Interligado Nacional, não existe norma brasileira de projeto, premissas e critérios consolidados para o dimensionamento dessas instalações em condições de emergência, provocadas por contingências na rede. O objetivo deste trabalho é propor critérios para a operação em emergência para que haja um dimensionamento adequado das linhas de transmissão com cabos isolados da Rede Básica.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Linhas Subterrâneas, Capacidades Operativas de Emergência, Planejamento da Transmissão, Sobrecarga, Cabos Isolados

#### **1.0 - INTRODUÇÃO**

O planejamento da expansão do Sistema Interligado Nacional (SIN) tem, cada vez mais, adotado soluções de linhas de transmissão (LT) com cabos isolados de alta e extra-alta tensão nas diversas regiões metropolitanas do país, onde a implantação de linhas de transmissão aéreas (LTA) tem se tornado muito difícil ou mesmo inviável. Tal dificuldade ocorre devido a restrições diversas, com destaque para as socioambientais, os elevados custos fundiários, interferências com a infraestrutura urbana e/ou dificuldades para transposição de obstáculos, tais como rios, lagos, estreitos etc.

Para subsidiar as avaliações de viabilidade técnico-econômica das alternativas de expansão, o Planejamento tem realizado esforços para definir soluções de referência na implantação de novas LT. Nesse sentido, a metodologia aplicada precisa incorporar aprimoramentos à concepção de linhas de transmissão subterrâneas (LTS) que difere significativamente da concepção de LTA. Portanto, é necessário definir premissas e critérios específicos, aplicados ao dimensionamento dos cabos isolados, à etapa inicial de concepção da solução em regimes de operação normal (longa duração) e em emergência (curta duração) e que posteriormente serão aplicados também ao projeto básico da instalação. A definição de um critério de dimensionamento representa um ganho aos processos de planejamento da expansão e operação e requer ampla discussão.

O estabelecimento pelo Planejamento das capacidades operativas dos cabos isolados, mantendo-se o atendimento pleno à carga em condição de rede alterada, sem que haja o comprometimento da vida útil da instalação é um grande desafio e requer critérios de dimensionamento mais complexos quando comparados aos da LTA. Desse modo, operar uma LTS em regime de curta duração é uma condição real e necessária. Outro grande desafio refere-se ao estabelecimento da duração máxima do regime de emergência, uma vez que o

intervalo de tempo necessário à identificação do local do defeito e reparo do(s) cabo(s) isolado(s) poderá ser maior que o suportável pela instalação do ponto de vista térmico. Portanto, fica evidente a necessidade de critérios de dimensionamento distintos para a LTA e LTS.

Em dimensionamentos de sistemas radiais aéreos com dois circuitos paralelos, na condição N-1, é usual considerar que o circuito remanescente assumirá 100 % da carga durante 96 horas. Já em sistemas radiais subterrâneos com a mesma topologia, ter que sobreviver à perda de um elemento paralelo pode levar ao sobredimensionamento da seção do condutor (sobrecapacidade em regime normal de operação) ou à necessidade de instalação de um terceiro circuito. Ambas as soluções oneram significativamente o empreendimento, reforçando a necessidade de reflexão sobre os critérios de dimensionamento de cabos isolados aos moldes das LTA.

Em muitas análises feitas pelo Planejamento, foi identificada a necessidade de adoção de cabos isolados com grandes seções transversais, inclusive acima das máximas dos catálogos de fabricantes. A adoção de critérios diferenciados para o dimensionamento da LTS nos regimes de longa e curta duração leva a um dimensionamento mais econômico da instalação.

Por fim, os resultados apresentados no artigo fornecem subsídios às discussões e definições de critérios para a implantação de LTS no que tange às fases de planejamento e operação.

## 2.0 - PERSPECTIVAS DAS LINHAS SUBTERRÂNEAS DE EXTRA ALTA TENSÃO NO BRASIL

Devido ao crescimento da carga nos grandes centros urbanos e às limitações de espaço em tais regiões, a utilização de LTS na rede básica é uma tendência crescente nas regiões metropolitanas de maior densidade demográfica do país. Soluções com LTA são proibitivas em muitos casos devido às restrições socioambientais, assim como às questões relacionadas à utilização do solo. Mesmo as linhas aéreas compactas não são de simples implementação, e muitas vezes são inviáveis. Nesses casos, portanto, a utilização de linhas subterrâneas torna-se a única solução capaz de evitar as restrições em detrimento dos custos mais elevados.

Essa tendência pode ser verificada nos últimos estudos de planejamento de muitas regiões metropolitanas no âmbito do Plano Decenal. No total, mais de 180 km de linhas com cabos isolados estão indicadas, sejam elas integralmente subterrâneas ou compostas por trechos aéreos, subterrâneos e/ou subaquáticos, com investimentos da ordem de bilhões de reais.

Desse total de novos circuitos subterrâneos, cerca de 95 km se localizam na região metropolitana de São Paulo (RMSP) com nível de tensão nominal de 345 kV. As demais LTS estão localizadas nas regiões metropolitanas de Porto Alegre (RMPA), Salvador, Recife, Fortaleza e Manaus, com nível de tensão nominal de 230 kV. A tabela abaixo apresenta os empreendimentos recomendados pelo Planejamento:

Tabela 1 - Linhas transmissão subterrâneas da Rede Básica recomendada pelo Planejamento

LTS	Local	Caraterística	Comprimento da LTS por circuito (km)
LT 345 kV Norte Miguel – Reale C3 e C4	RMSP	Subterrâneo	14
LT 345 kV Miguel Reale – São Caetano do Sul C1 e C2	RMSP	Subterrâneo	7,5
LT 345 kV São Caetano do Sul – Sul C1 e C2	RMSP	Subterrâneo	13
LT 345 kV São Miguel – Ramon C1 e C2	RMSP	Subterrâneo	7
LT 345 kV Norte – São Miguel C1 e C2	RMSP	Subterrâneo	6
LT 230 kV Manaus – Mauá 3 C1	Manaus	Subterrâneo/Aéreo	9
LT 230 kV Fortaleza II – Dias Macedo C1 e C2	Fortaleza	Subterrâneo/Aéreo	12
LT 230 kV Camaçari IV – Pirajá C1 e C2	Salvador	Subterrâneo/Aéreo	4,2
LT 230 kV Araucária – Barigui 2 C1 e C2	Curitiba	Subterrâneo/Aéreo	2
LT 230 kV Porto Alegre 1 - Porto Alegre 9 C1	RMPA	Subterrâneo	9

LT 230 kV Cidade Industrial - Charqueadas C1	RMPA	Subterrâneo	5,5
LT 230 kV Santa Cruz – Charqueadas C1	RMPA	Subterrâneo	5,5
LT 230 kV Porto Alegre Sul – Porto Alegre 4 C1 e C2	RMPA	Subterrâneo/Aéreo	7
LT 230 kV Porto Alegre 19 - Viamão 3 C1 (Nova)	RMPA	Subterrâneo	5,3
LT 230 kV Gravataí 2 - Porto Alegre 8 C1	RMPA	Subterrâneo	5,3
LT 230 kV Porto Alegre 9 - Porto Alegre 4 C1	RMPA	Subterrâneo	1,3
LT 230 kV Porto Alegre 9 - Porto Alegre 1 C1	RMPA	Subterrâneo	0,5

### 3.0 - TIPOS DE TOPOLOGIA DE REDE PARA FINS DE DIMENSIONAMENTO DE LTS

Dado o expressivo volume de empreendimentos a serem licitados, é importante que exista uma metodologia para o dimensionamento das LTS, observando as particularidades das possíveis topologias de rede em que as linhas podem estar inseridas. Tal metodologia estabelece as diretrizes para o dimensionamento das capacidades operativas das LTS no processo pré-leilão, de forma que os agentes tenham clareza dos requisitos exigidos para o empreendimento em questão, e fornece flexibilidade às inovações por parte dos empreendedores.

Outro objetivo da metodologia é garantir que, na etapa de análise do projeto básico, seja possível averiguar o cumprimento dos requisitos estabelecidos no contrato de concessão de forma objetiva, mesmo que o projeto básico apresente configuração alternativa em relação à de referência, sem comprometimento dos desempenhos mínimos estabelecidos pelo Planejamento.

Em uma primeira análise, são apresentadas duas topologias básicas de implementação de LTS que abrangem grande parte das redes existentes. A primeira refere-se à aplicação de circuitos radiais cuja função é basicamente o atendimento à carga de um grande centro urbano, conforme ilustrado na Figura 1. Neste caso, a perda de um dos circuitos implica que o remanescente deverá ter capacidade para suprir toda a demanda da SE terminal, em atendimento ao critério de contingência simples ou N-1.

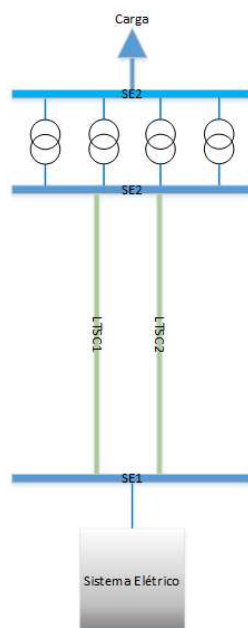


Figura 1 – Topologia radial – Atendimento à carga por meio de duas LTS

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

A segunda topologia refere-se à aplicação de LTS em sistemas malhados, conforme ilustrado na Figura 2. Tal configuração exige uma análise minuciosa das possíveis contingências que impactam os fluxos de potência das LTs em questão, sendo esta análise fundamental para o adequado dimensionamento.

Em algumas situações pode ainda ser requerido que o sistema suporte contingências duplas, N-2. Tais situações podem exigir um nível de carregamento em emergência significativamente maior que o primeiro (1). De maneira geral, as LTA possuem maior flexibilidade quando comparadas às LTS, uma vez que existe a possibilidade de se recapacitar ou reisolar a LTA com custos inferiores à reconstrução ou expansão. Não obstante, tal recurso se torna inviável quando houver comprometimento das distâncias de isolamento, seja na cabeça da estrutura seja ao longo do vão na existência de ocupação indevida da faixa de servidão.

Portanto, analisando as duas topologias apresentadas é imprescindível que o dimensionamento da LTS considere os carregamentos para os cenários de rede íntegra e de contingências simples e/ou dupla.

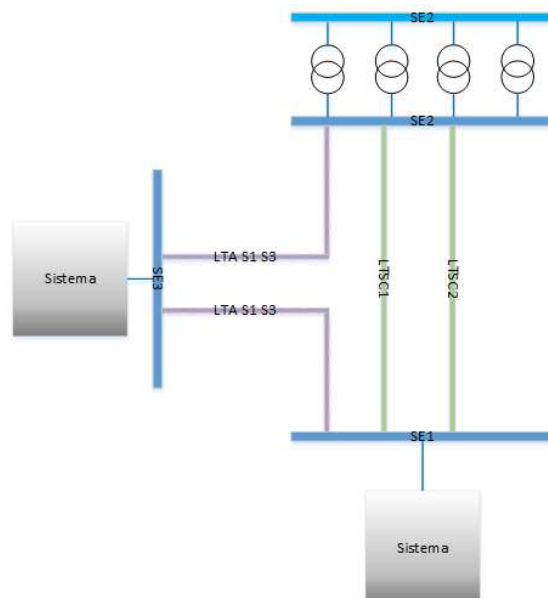


Figura 2 - Topologia com sistemas malhados – Atendimento à carga multidirecional – Análise das contingências mais críticas.

#### 4.0 - CRITÉRIOS PARA O ESTABELECIMENTO DAS CAPACIDADES DAS LTS NOS REGIMES DE OPERAÇÃO NORMAL E EM EMERGÊNCIA

Um aspecto a ser considerado no estabelecimento das capacidades operativas das LTS refere-se à duração ou intervalo de tempo suportável pelos cabos isolados em condição de sobrecarga (emergência ou curta duração). A distinta natureza dos equipamentos e seus isolamentos impõe maiores limitações aos que possuem isolamento não regenerativo, pois geralmente estão associados a um limite de tempo de permanência.

Apesar dos critérios de planejamento e de operação de LTA não estabelecerem uma duração máxima para o regime de curta duração, vale salientar que há uma referência neste aspecto na norma brasileira NBR 5422/1985 que limita a 5% do tempo de um ano (18,25 dias), distribuídos em eventos não contínuos com duração de no máximo 4 dias ou 96 horas. Para LT da rede básica, o Contrato de Prestação de Serviço de Transmissão (CPST) contempla duas capacidades operativas: i) Longa Duração (LD) e ii) Curta Duração (CD). Tanto os Procedimentos de Rede quanto os critérios de planejamento, hoje, fazem referência à norma NBR 5422. Portanto, é este intervalo de tempo que o Planejamento tem considerado no dimensionamento das LTA.



Para transformadores de potência, os Procedimentos de Rede (2) estabelecem duas condições distintas para regime de curta duração. A primeira define que os equipamentos devem suportar um carregamento de 120% da potência nominal por um período de 4 horas do ciclo diário de carga “para a expectativa de perda de vida útil estabelecida nas normas técnicas”. A segunda define um carregamento de 140% da potência nominal por período de 30 minutos do seu ciclo diário de carga, também atendendo as condições estabelecidas por norma. As referidas condições de sobrecarga dos transformadores devem poder ser alcançadas para qualquer condição prévia de carregamento dos equipamentos. Nota-se que, em geral, a condição de 140 % de sobrecarga é restrita ao âmbito da operação, não sendo considerada pelo Planejamento.

As LTS, assim como os transformadores, possuem isolamento não regenerativo. Portanto, caso não se avalie adequadamente a duração desta condição operativa, as condições de sobrecarga podem resultar em degradação do isolamento e consequente redução da vida útil. Atualmente, não existe um critério bem definido para o dimensionamento de LTS em sobrecarga, sendo recomendado apenas que se observem as normas técnicas internacionais no dimensionamento.

Apesar das LTS possuírem confiabilidade muito superior às linhas aéreas, na ocorrência de defeito, os tempos de reparo típicos são consideravelmente superiores aos das LTA, podendo variar entre poucos dias até várias semanas ou meses em condições mais adversas. Entre a ocorrência de defeito permanente na LTS e o retorno à operação, diversas etapas deverão ser percorridas, tais como a investigação do defeito, intervenções urbanas no tráfego e de veículos e pessoas, escavações para confirmar o local do defeito, remoção do trecho com cabos danificados, montagem das emendas, testes, recuperação do mobiliário público afetado etc (3). Portanto, um critério de dimensionamento ideal deve levar em consideração que uma LTS sob defeito poderá ficar indisponível por um longo prazo.

Um raciocínio semelhante também pode ser aplicado às contingências de unidades transformadoras trifásicas, cujos tempos de reparo são da ordem de meses. Logo, a perda de um elemento de transformação, principalmente em instalações com reserva quente, pode implicar em um tempo de indisponibilidade consideravelmente superior ao tempo máximo em sobrecarga das unidades remanescentes que é da ordem de horas.

Apesar de desejável sob o aspecto da segurança, dimensionar a LTS para permitir que a rede remanescente suporte a perda do elemento sob defeito (LTS) por intervalos de tempos tão elevados, incorreria em sobredimensionamentos e custos superiores aos que hoje são praticados. Dado que existe a possibilidade de se realizar medidas operativas, como transferência de carga por meio da rede de distribuição, assumir o ônus de tal custo não se justifica, a não ser em casos onde tal requisito seja imprescindível. Não é razoável, portanto, afirmar que a duração da condição de curta duração de uma LTS deva ser equivalente ao seu tempo de reparo.

#### 4.1 Capacidades de Longa Duração e Curta Duração de LTS

Quando submetidos a temperaturas superiores a 90°C e limitadas a 105°C, as características dielétricas do cabo isolado (XLPE) podem não ser garantidas (4). O impacto da degradação do isolamento pode implicar na redução da vida útil do equipamento, podendo se tornar inferior ao período de concessão da LTS que, em geral, é de 30 anos. Como os empreendimentos de transmissão, em geral, apresentam vida útil superior ao período de concessão, espera-se que uma LTS tenha a sua concessão renovada, ou seja relicitada no futuro sem que intervenções sejam necessárias.

Nos casos em que os equipamentos de transmissão tenham expectativa de vida útil inferior ao período da concessão, é necessário incorporar a manutenção ou a substituição dos mesmos na etapa de avaliação de viabilidade técnica e econômica. Tal valoração pode se tornar uma tarefa complexa caso se queira considerar a redução da vida útil da LTS em função do aumento do fluxo de potência muito acima do inicialmente estimado pelo Planejamento, no final do horizonte, em função das incertezas.

Dada a dificuldade ou mesmo a impossibilidade de recapacitação de uma LTS, é esperado que dentro do período de concessão, não ocorram continuamente nos cabos, temperaturas superiores à máxima suportável pelo isolamento, sem perda da vida útil da instalação, inclusive no regime operativo de emergência. Diante dessas

particularidades, a operação tende a limitar a temperatura dos cabos isolados à máxima suportável continuamente, que, no caso dos cabos XLPE, é de 90°C.

A IEC 60287 (5) apresenta o equacionamento da capacidade de corrente em regime permanente para um fator de carga de 100 %. Já a IEC 60853 (6) apresenta as diretrizes para o cálculo da capacidade de corrente em regime cíclico, considerando um ciclo de carga diário pré-estabelecido. Em ambas situações, é pressuposta uma temperatura máxima de operação em função do material isolante empregado.

Em relação às capacidades de curta duração, não definir tempos máximos de sobrecarga implica necessariamente que um circuito deva suportar por tempo indefinido as contingências simples ou duplas, quando esse for o critério. Tal condição poderá resultar em cabos com parte condutora em cobre e com seção transversal no limite de sua aplicação no campo (da ordem de 3000 mm<sup>2</sup>), o que implica em elevados custos de instalação, além de dificultar a etapa de lançamento dos cabos nas valas. Tomando como referência os tempos previstos para condição de emergência das linhas aéreas e dos transformadores, mesmo que diferentes, constata-se que a Operação possui larga experiência no remanejamento de cargas ou mesmo em solucionar as contingências em tempos pré-determinados.

A experiência internacional também apresenta definições de períodos máximos para a operação em sobrecarga de LTS, sendo utilizadas como requisito para dimensionamento das instalações. Na Nova Inglaterra, o planejamento de curto de prazo trabalha com tempos de 4 horas no inverno e 12 horas no verão (7). Na Holanda, um projeto de uma LTS 380 kV em circuito duplo com 1645 MVA cada (8), estabeleceu como requisito que o circuito remanescente deveria suportar por um período de uma semana a potência de 2650 MVA, e para períodos de 2 semanas uma potência de até 2150 MVA, cerca de 1,6 pu e 1,3 pu de carga, respectivamente. Outros exemplos com tempos distintos para a curta duração de LTS podem ser encontrados na literatura (9)(10).

Por fim, de acordo com a brochura técnica n° 338 do Cigré (10), pg. 75, não é razoável definir um critério geral sobre regime de curta duração para LTS, dadas as diferentes formas como as redes de transmissão são concebidas e operadas entre os países. Portanto, a definição de um critério de sobrecarga deve levar em consideração as particularidades de cada país ou região.

#### 4.2 Dimensionamento de LTS

O horizonte dos cenários do Plano Decenal possui entre 10 e 15 anos a partir da entrada de um empreendimento que vai a leilão. No caso particular das linhas subterrâneas, a impossibilidade de recapacitação exige um horizonte de análise mais longo, uma vez que período de concessão é de 30 anos. Não levar em conta cenários compatíveis com a vida útil da instalação pode gerar problemas futuros na operação e na expansão dos sistemas de transmissão dessas regiões, dada a dificuldade de se controlar os fluxos de potência em corrente alternada em sistemas malhados. Portanto, uma das premissas no dimensionamento de LTS é a criação de cenários para os últimos anos do período de concessão, visando contornar possíveis gargalos causados pelo subdimensionamento das mesmas.

Uma característica das linhas subterrâneas é a elevada inércia térmica do solo e do material que envolve os cabos (*backfill*), fazendo com que a temperatura dos condutores demore várias horas ou mesmo alguns dias para atingir um determinado limite de temperatura, dado um incremento instantâneo de potência (degrau). Dessa forma, os regimes de curta duração podem ser definidos ainda na fase de concepção, explorando tal características para atender as sobrecargas previstas (10).

A Figura 3 ilustra a aplicação de uma sobrecarga em LTS, levando-se em consideração as características térmicas citadas. Observa-se que quanto maior for o nível de sobrecarga exigido para uma dada instalação, menor será tempo necessário para que se atinja uma dada temperatura limite. Para situações em que o tempo de sobrecarga for um requisito, é necessário adaptar a instalação, modificando as características da instalação, como os cabos isolados, o material utilizado como *backfill*, o arranjo dos condutores, etc.



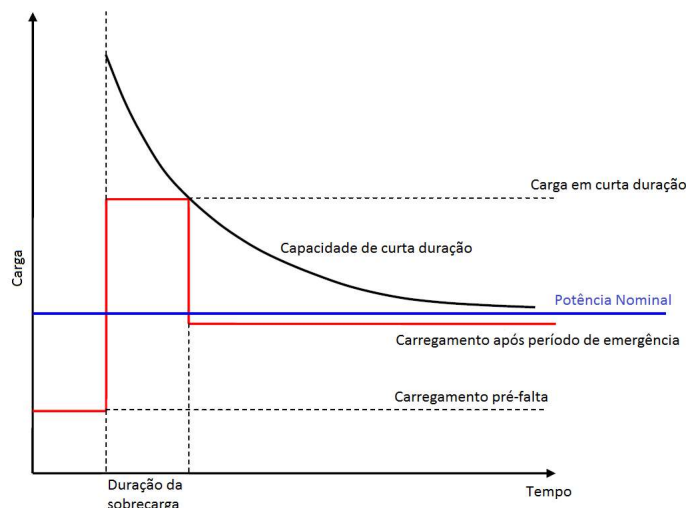


Figura 3 – Ilustração do uso das elevadas constantes de tempo térmica da LTS para atendimento a um degrau de potência no regime de curta duração (10)

Grande parte das LTS encontram-se nas regiões metropolitanas, onde o critério N-2 pode ser um requisito. Dado que contingências duplas impõem carregamentos consideravelmente mais severos que as contingências simples, é razoável trabalhar com tempos de permanências distintos para empreendimentos com cabos isolados.

A proposta desse trabalho é estabelecer durações máximas para contingências simples e dupla. Em caso de contingência simples, a LTS não poderá ser submetida a temperaturas acima da máxima suportável pelo cabo por até 96 horas, considerando a máxima corrente identificada pelos estudos de fluxo de potência, e no caso de contingência dupla, por duração máxima de 4 horas.

A consideração dos tempos de sobrecarga mencionados é aderente à experiência da operação existente no Brasil para LTA e transformadores. Este fato reforça que as situações de contingência envolvendo LTS devem ser minimamente compatíveis com às características operacionais existentes.

Vale salientar que a temperatura nos cabos para condição de rede íntegra é pré-requisito nas definições das sobrecargas devido a contingências. Quanto mais próxima da temperatura suportável em longa duração, menores serão as sobrecargas admissíveis em curta duração. Em resumo, o projeto de uma da LTS terá como requisito o atendimento a pelo menos seis requisitos básicos:

- i. atender a condição de rede íntegra por tempo indeterminado sem que o limite de temperatura suportável dos cabos seja ultrapassado, levando em consideração o fator de carga e a geometria dos circuitos em análise;
- ii. suportar a sobrecarga mais severa devido a contingência simples por até 96 horas, adotando como condição inicial a temperatura limite identificada no item i;
- iii. suportar a sobrecarga mais severa devido a contingência dupla por até 4 horas, adotando como condição inicial a temperatura limite identificada no item i;
- iv. representar a sobrecarga por um degrau de corrente, seja em contingência simples, item ii, ou dupla, item iii;
- v. a temperatura suportável em qualquer situação para o projeto de uma LTS deve ser compatível com o material isolante. No caso do XLPE é de 90°C;
- vi. respeitar um intervalo de tempo mínimo para o decréscimo da temperatura ao patamar definido em i antes de submeter a LTS a sobrecargas subsequentes.

Portanto, justifica-se revisar os conceitos relativos às capacidades operativas de LTS, explorando os benefícios da elevada inércia térmica desse tipo de instalação, de forma a otimizar o dimensionamento, uma vez que a LTS

apresenta custos expressivamente superiores às LTA. Vale destacar que os critérios adotados pela ATC (11) para dimensionamento de LTS tem grande similaridade com a proposta deste artigo.

## 5.0 - ESTUDOS DE CASO

Conforme mencionado, uma das principais motivações para busca de um critério que diferenciase a condição de em regime normal de operação das condições de emergência, foi a verificação de bitolas excessivas e até mesmo indisponíveis nos catálogos dos fabricantes para muitos empreendimentos em análise. Dadas as dificuldades em mensurar o custo econômico da perda de expectativa de vida útil, como já discutido, o critério utilizado nas primeiras recomendações de LTS previa que os cabos isolados deveriam suportar as contingências por tempo indeterminado. A seguir são apresentados os resultados do dimensionamento de uma das LTS da região metropolitana de São Paulo, a partir da metodologia proposta neste trabalho. Para tal análise foi utilizado software de reconhecimento internacional.

### 5.1 LT 345 kV São Caetano do Sul – Sul C1 e C2

Os estudos de viabilidade para atendimento à Região Metropolitana de São Paulo recomendam oito novos circuitos subterrâneos, dentre eles a LTS 345 kV São Caetano do Sul – Sul C1 e C2. A Figura 4 apresenta o diagrama unifilar das LTS previstas, destacando a LTS sob análise.

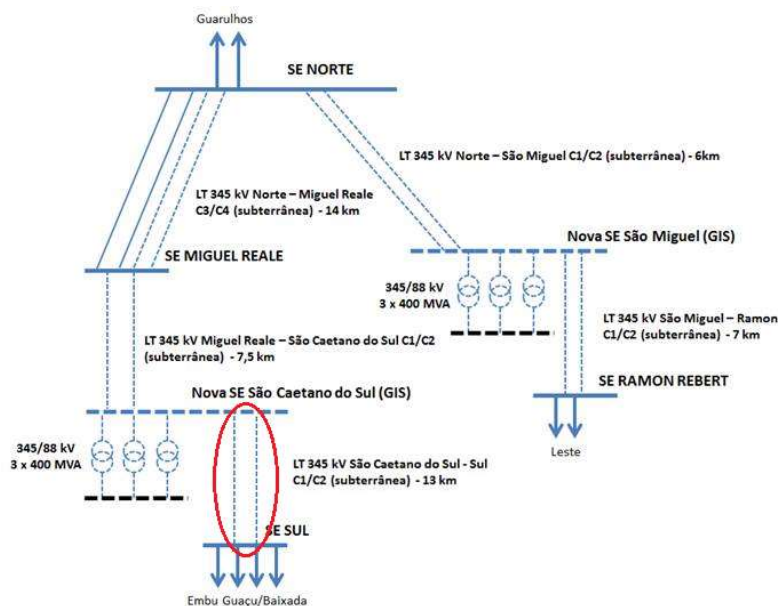


Figura 4 - Circuitos subterrâneos previstos para a região metropolitana de São Paulo.

A SE São Caetano do Sul possui três transformadores de 400 MVA, sendo que na perda de um, os demais deverão suportar 20% de sobrecarga. Portanto, considerando a reserva quente, a carga máxima prevista para SE será de 960 MVA. A Tabela 2 apresenta as condições de carregamento da LTS 345 kV São Caetano do Sul – Sul C1 e C2 para máxima carga prevista em São Caetano do Sul.

Tabela 2 - Carregamento máximo previsto para LT 345 kV São Caetano do Sul – Sul C1 e C2

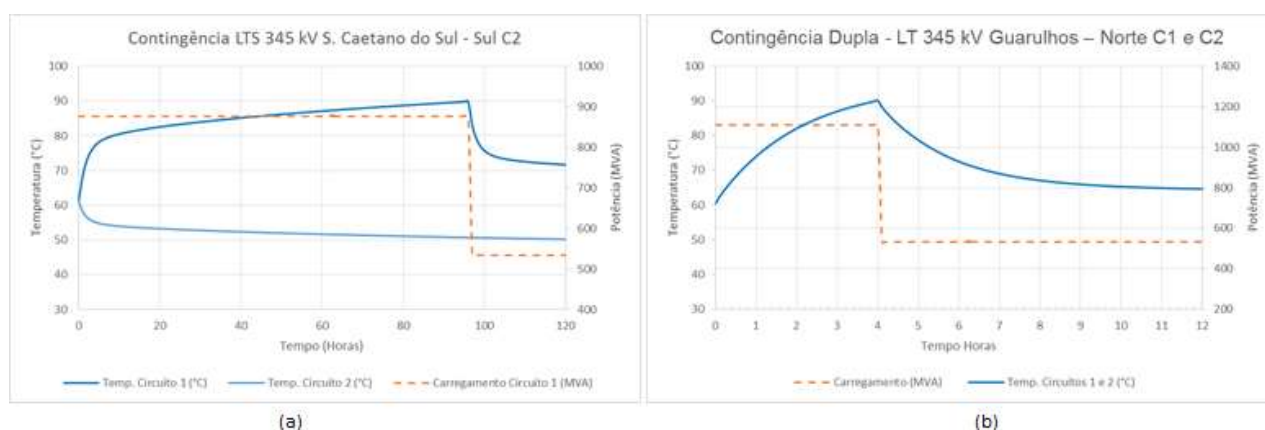
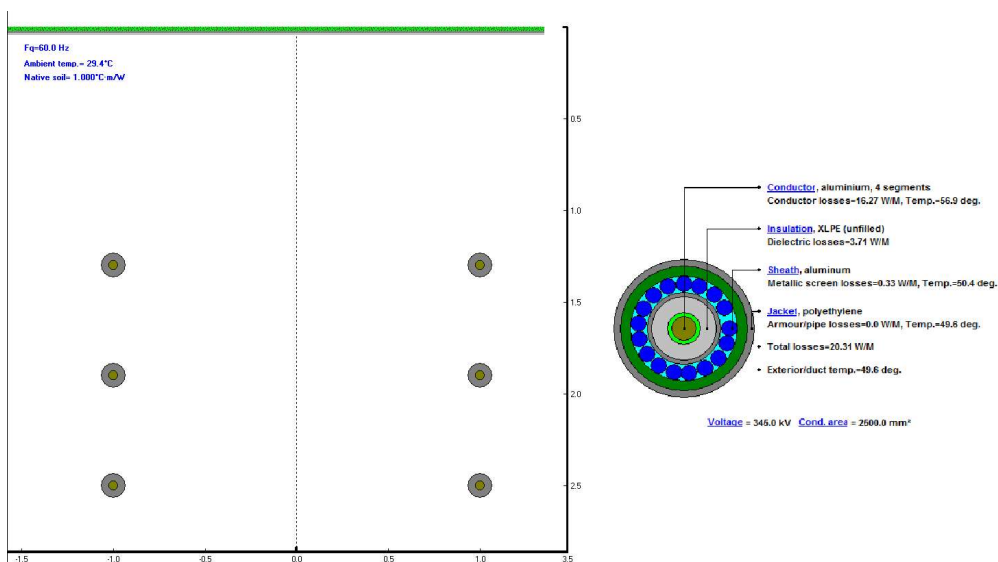
Condição Operativa	Carregamento (MVA)	Duração (h)	Elemento Indisponível
Rede íntegra	534	∞	-
Contingência simples (N-1)	877	96	LT 345 kV São Caetano do Sul – Sul C1



10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

Contingência dupla (N-2)	1110	4	LT 345 kV Guarulhos – Norte C1 e C2
--------------------------	------	---	-------------------------------------

Como se trata de dois circuitos, foi selecionada uma configuração vertical em circuito duplo, de maneira que apenas uma pista de rolagem das vias fosse ocupada. Foram avaliadas diferentes configurações com cabos de alumínio de seção igual a 2000 mm<sup>2</sup> e 2500 mm<sup>2</sup>, sendo a segunda opção a única a atender os critérios estabelecidos para o dimensionamento da LTS. As figuras abaixo apresentam o comportamento térmico do cabo com maior temperatura identificada nas simulações para os regimes de curta duração em N-1 e em N-2. É possível observar que ao final dos períodos de sobrecarga a temperatura fica próxima do limite de 90 °C adotado.





## 6.0 - CONCLUSÕES

A demanda por LTS vem crescendo de forma considerável nos últimos anos e a previsão é que estas ocorrerão com frequência ainda maior nos próximos leilões de transmissão a serem conduzidos pela ANEEL.

A definição de um critério de dimensionamento para LTS é uma necessidade, uma vez que os custos de instalação são consideravelmente mais elevados que os de uma LTA. Enquanto o subdimensionamento da seção do cabo pode ocasionar uma restrição na capacidade de corrente da LTS, o sobredimensionamento onera a instalação de forma desnecessária. A proposta apresentada neste artigo é buscar um dimensionamento racional das LTS, garantindo capacidades adequadas para um empreendimento com longa expectativa de vida útil, porém, sem incorrer em sobrecustos.

Haja vista as severas condições impostas pelas contingências simples e dupla, a ausência de um critério de dimensionamento para condições de emergência faz com, em grande parte dos casos, sejam especificados cabos de cobre, substancialmente mais caros que os de alumínio, com intuito de atender às situações de contingências da rede. A adoção do critério de sobrecarga proposto possibilita que muitos dos empreendimentos sejam recomendados com cabos de alumínio, restando a utilização de cabos de cobre para situações estritamente necessárias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CCPE-ctet056-2002 – Parte II – Critério e Procedimentos para Estudos Elétricos.
- (2) Operador Nacional do Sistema (ONS) - Procedimentos de Rede – Submódulo 23.3 Diretrizes e critérios para estudos Elétricos Rev. N° 2018.08.
- (3) Cigré TB 680– Implementation of Long AC HV And EHV Cable Systems - Working Group B1.47, March 2017.
- (4) ICEA S-108-720:2018 - Extruded Insulation Power Cables Rated Above 46 through 500 KV AC
- (5) IEC 60287-1-1:2006 – Electric cables – Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses - General.
- (6) IEC 60853-2:1989 – Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables – Part 2: Cyclic Rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency rating for cables of all voltages.
- (7) Maslennikov, S., Litvinov, E. - Adaptive Emergency Transmission Rates in Power System and Market Operation - IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 24, NO. 2, MAY 2009.
- (8) C.G.A. Koreman - Development of a new 380 kV double circuit XLPE insulated cable in The Netherlands - CIGRE 2006 paper B1-107.
- (9) AEIC CS9-06, Specification for Extruded Insulation Power Cables and Their Accessories Rated Above 46 kV through 345 kV, Association of Edison Illuminating Companies, 2006.
- (10) Cigré TB 338 –Statistics of AC Underground Cables in Power Networks- Working Group B1.07, December 2007.
- (11) American Transmission Company (ATC) - Underground Transmission Line Ampacity Ratings – Criteria – Document n° CR-0062 v06 – 2012.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



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

4738  
GLT/27

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG



**João Henrique Magalhães Almeida**, graduou-se Engenheiro Eletricista pela UFMG em 2009. Possui Especialização em Engenharia Econômica pela UERJ e é mestrando em Políticas Públicas pelo Instituto de Economia da UFRJ. Trabalhou na CEMIG D na área de estudos da Gerência de Expansão de Linhas e Subestações de 2010 a 2013. Trabalhou na EPE como analista na Superintendência de Transmissão de Energia de 2013 a 2019. Atualmente trabalha no ONS na Gerência de Engenharia de Instalações.

**Dourival de Souza Carvalho Junior**, engenheiro eletricista formado pela PUC-Rio em 1976; mestre em ciências em engenharia elétrica pela Coppe/UFRJ em 1980; Academic Visitor no Imperial College of Science and Technology (Londres, Inglaterra), por um ano, em 1987; mestre em administração de empresas pela PUC-Rio em 1995. É analista na Superintendência de Transmissão de Energia na EPE desde 2007. Experiência de mais de 30 anos em planejamento, consultoria, ensino, pesquisa e estudos de sistemas elétricos de potência, atuando em empresas como Ptel, Promon, Marte, Cepel e PA Consulting.

**Sérgio Falcão** graduou-se Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Ceará em 2012. Mestre pelo Programa de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Ingressou no Operador Nacional do Sistema Elétrico em 2013, onde atuou em estudos de ampliações e reforços no Sistema Interligado Nacional. Deste 2015 é Analista de Pesquisa Energética na Empresa de Pesquisa Energética – EPE e tem trabalhado com estudos de planejamento da transmissão do Sistema Interligado Nacional, com ênfase em estudos de transitórios eletromagnéticos e linhas de transmissão.

**Fabiano Schmidt**, graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFMT em 2010. Possui mestrado e doutorado pela UNICAMP em 2013 e 2017, respectivamente, onde realizou pesquisas em modelagem matemática/computacional na área de estimação de estado em sistemas de energia elétrica. É analista na Superintendência de Transmissão de Energia da EPE desde 2015. Nesse período tem trabalhado com estudos elétricos para o planejamento da expansão da transmissão.

**Carlos Campinho**, engenheiro eletricista formado pela UCP onde lecionou por 20 anos. É pós-graduado pela PUC-Rio. De 1986 a 2005, trabalhou em empresas de consultoria e construção de linhas de transmissão. Desde 2006, trabalha no ONS com anexos técnicos de editais de leilão de transmissão da ANEEL, projetos básicos de linhas de transmissão do SIN, revisão do Submódulo 2.4 dos Procedimentos de Rede e estudos ONS/EPE relacionados com capacidades operativas de linhas de transmissão subterrânea. Foi coordenador do projeto ONS/INPE para elaboração do mapa Brasil de densidade de descargas atmosféricas.