

# Modelagem de uma linha de transmissão com trecho aéreo, subterrâneo e subaquático para o estudo de desequilíbrio de tensão

R.T.M MANSUR I.J.S. LOPES

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

**Abstract:** This article presents the modeling of a transmission line with overhead, underground and underwater sections for the study of voltage unbalance for the predicted maximum load scenarios. The evaluation of voltage unbalance at the design stage is an important preventive action not only for the reduction of electrical losses, but also for the mitigation of power quality phenomena and operational interference in transmission lines. After an initial discussion about voltage unbalance, its consequences and how to determine it, the modeling by the ATPDRAW software is presented to evaluate the negative and zero sequence voltage unbalances. The objective is to define the parameters of this system for simulating voltage unbalance compared to the maximum allowed limit of 1.5%, established by the ONS for the condition of the transmission line to operate at no load and at full load. The results obtained show that the proposed aerial, underwater and underground transmission line is capable of operating within the unbalance limits established by ANEEL. However, it was observed that a possible increase on the extent of the future LT will directly affect the maximum calculations.

**Resumo:** Este artigo apresenta a modelagem de uma linha de transmissão com trecho aéreo, subterrâneo e subaquático para o estudo de desequilíbrio de tensão para os cenários de carregamento máximos previstos. A avaliação do desequilíbrio de tensão na etapa de projeto é uma ação preventiva importante não apenas para a redução de perdas elétricas, como também para a mitigação de fenômenos de qualidade de energia e interferências operacionais em linhas de transmissão. Após uma discussão inicial sobre desequilíbrio de tensão, suas consequências e como determinar, é apresentada a modelagem pelos softwares ATPDRAW para avaliação dos desequilíbrios das tensões de sequência negativa e zero. O objetivo é definir os parâmetros deste sistema para simulação do desequilíbrio de tensão comparando com o limite máximo permitido de 1,5%, estabelecido pelo ONS para condição da linha de transmissão operar a vazio e a plena carga. Os resultados obtidos mostram que a linha de transmissão aérea, subaquática e subterrânea proposta é capaz de operar dentro dos limites de desequilíbrio normatizados pela ANEEL. Porém, foi observado que uma variação na extensão da LT bem como um possível seccionamento futuro pode impactar diretamente nos limites máximos calculados.

**Keywords:** Transmission line; Underground line; Underwater line; Viability studies; Installation

**Palavras-chaves:** Linha de transmissão; Linha subterrânea; Linha subaquática; Estudos de viabilidade; Instalação

## 1. INTRODUÇÃO

A implantação de linhas de transmissão convencionais plenamente aéreas está cada vez mais limitada devido ao crescimento populacional nas regiões metropolitanas e às restrições socioambientais. A utilização de linhas híbridas torna-se uma solução capaz de evitar essas 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 realizado pela Empresa de Pesquisa Energética do governo federal – EPE. No total, mais de 180 km de linhas com cabos isolados estão indicadas, sejam elas integralmente subterrâneas ou compostas concomitantemente com trechos aéreos e/ou subaquáticos, com investimentos da ordem de bilhões de reais. O artigo trata da modelagem e simulação do desequilíbrio de tensão de uma linha híbrida composta por um trecho aéreo, subaquático e subterrâneo. As análises do desequilíbrio de tensão são realizadas em regime permanente, conforme recomendação do procedimento de rede do ONS.

A Fig. 1 mostra o corredor com a vista de planta da linha híbrida proposta pela EPE composta por um trecho aéreo, subaquático e

subterrâneo. A linha de transmissão de dois circuitos, designada de LT 230kV Biguaçu – Ratoles, foi licitada no Leilão ANEEL em 2018. Possui um trecho aéreo de 15 km, um trecho submarino de 13 km, e um trecho subterrâneo de 4 km. Interliga a subestação existente de Biguaçu, no continente, e a subestação de Ratoles, na ilha catarinense. Esta linha foi planejada para garantir o fornecimento de energia, prevendo um crescimento da carga nos próximos 25 anos, para a cidade de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, localizada na região sul do Brasil.



Fig. 1. Vista de Planta da linha híbrida

As características da linha de transmissão são:

- Linha de Transmissão mista
- Tensão nominal: 230 kV
- Tensão de operação: 242 kV
- Trecho aéreo: 15 km
- Trecho submarino: 13 km
- Trecho subterrâneo: 4 km
- Circuito: duplo
- Potência: 400 MVA
- Corrente de longa duração: 1.004 A
- Corrente de curta duração: 1.100 A

## 2. DESEQUILIBRIO DE TENSÃO

O desequilíbrio de tensão é um distúrbio que afeta diretamente a qualidade no fornecimento de energia elétrica. Segundo o PRODIST este distúrbio está associado às alterações dos padrões trifásicos do sistema, sejam eles relacionados aos módulos, ou ângulos de fases, ou ambos, uma vez que as três tensões devem possuir o mesmo valor em amplitude e defasagem de 120° entre si.

A principal consequência do desequilíbrio de tensão é o aumento das perdas elétricas, em outras palavras, sistemas elétricos desequilibrados ou desbalanceados provocam aumento considerável das perdas elétricas contribuindo para o desperdício de energia elétrica. Soluções para a correção de redes desbalanceadas são, portanto, além de adequações econômicas e operacionais, ações sustentáveis do ponto de vista ambiental. Além disso, caso os valores de desbalanceamento sejam significativos, eles podem chegar a desligar uma linha de transmissão pela atuação do relé de proteção específico.

A análise de desequilíbrio de tensão de sequência negativa e zero em linhas de transmissão considera a divisão da linha de transmissão em N trechos. Para cada trecho da linha de transmissão, é calculado um circuito  $\pi$  a partir das matrizes de impedância e capacitância por km. Caso a linha de transmissão não seja transposta e possua uma silhueta predominante ao longo de toda a sua extensão, é gerado apenas um circuito  $\pi$ .

A Fig. 2 apresenta uma ilustração do circuito equivalente para o cálculo da tensão na barra receptora VR. A partir da tensão na barra emissora VE e da impedância da carga ZR, calculada em função da potência transmitida, resolve-se o circuito, obtendo-se assim a tensão na barra receptora VR. Caso a linha esteja operando a vazio, a impedância da carga ZR será infinita.

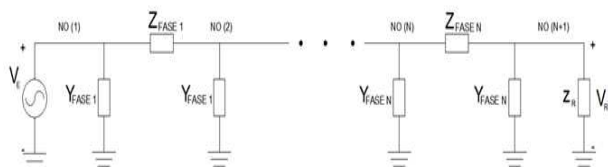


Fig. 2. Circuito equivalente

onde:

[Zfase] : Matriz de impedâncias de fase em  $\Omega$ ;

[Yfase] : Matriz de admitâncias de fase em S.

Para um número N de trechos, são gerados N+1 nós, sendo que no último nó é inserida a carga ZR.

A carga ZR é calculada em função da sua potência e do fator de potência. Considerando-se a tensão na barra emissora VE, a tensão na barra receptora VR será dada por:

$$[V_R] = [V_E] - [Z_{fase1}] [I_{série1}] - [Z_{fase2}] [I_{série2}] - \dots - [Z_{faseN}] [I_{sérieN}] \quad (1)$$

onde:

Isérie é a corrente em uma dada impedância Zfase.

No cálculo da corrente Isérie de cada trecho da linha de transmissão, são calculadas admitâncias equivalentes Yeq para os N+1 nós.

A partir das admitâncias equivalentes Yeq de cada nó (a direita de cada circuito  $\pi$ ), a corrente Isérie de cada trecho é calculada a partir do circuito da Fig.3.

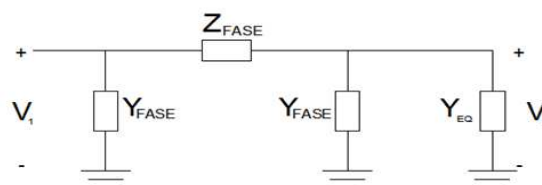


Fig.3. Circuito montado para cálculo da corrente Isérie.

Sendo assim, uma dada corrente Isérie é dada por:

$$[I_{série}] = \{ \{ [Y_{EQ}] + [Y_{fase}] \}^{-1} + [Z_{fase}] \}^{-1} [V_1] \quad (2)$$

O cálculo das admitâncias equivalentes é realizado conforme a seguir:

$$\begin{aligned} [Y_{EQN+1}] &= [Y_R] \\ [Y_{EQN}] &= \left( ([Y_R] + [Y_{faseN}])^{-1} + Z_{faseN} \right)^{-1} + [Y_{faseN}] \\ [Y_{EQN-1}] &= \left( ([Y_{EQN}] + [Y_{faseN-1}])^{-1} + Z_{faseN-1} \right)^{-1} + [Y_{faseN-1}] \\ &\vdots \\ [Y_{EQ1}] &= \left( ([Y_{EQ2}] + [Y_{fase1}])^{-1} + Z_{fase1} \right)^{-1} + [Y_{fase1}] \end{aligned} \quad (3)$$

As tensões de sequência podem ser obtidas a partir das tensões de fase através das seguintes relações:

$$[V_{fase}] = [T] [V_{seq}] \quad \Rightarrow \quad [V_{seq}] = [T]^{-1} [V_{fase}] \quad (4)$$

onde,

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$[T]^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

$$a = e^{-j120^\circ} \quad (5)$$

Uma vez calculadas as tensões de seqüências zero (V0), positiva (V1) e negativa (V2), os desequilíbrios podem ser avaliados, em percentual, através das seguintes expressões:

$$M_o = \frac{|V_0|}{|V_1|} \times 100\% \quad M_2 = \frac{|V_2|}{|V_1|} \times 100\% \quad (6)$$

Onde:

$M_o$  = fator de desequilíbrio de seqüência zero;

$M_2$  = fator de desequilíbrio de seqüência negativa;

Em uma linha de transmissão, caso os fatores de desequilíbrios de tensão de seqüência zero ou negativa sejam superiores a 1,5%, em vazio (sem carga no terminal receptor) e a plena carga (carga representada por uma impedância equivalente à capacidade de corrente de longa duração da LT), o projeto deve propor adequação da linha de transmissão envolvida.

### 3. MODELAGEM

As simulações foram realizadas via softwares ATP (Alternative Transients Program).

O ATPDraw é um software que suporta várias modelagens de LT's: Bergeron, PI, JMarti, Noda e Semlyen, sendo possível o usuário selecionar o tipo de sistema para cada objetivo de estudo. No estudo presente, foi utilizado o método das características também chamado de método de Bergeron, baseado na solução de D'Alembert para ondas trafegantes, para calcular as matrizes de resistências, indutâncias e capacitâncias, em componentes de fase ou simétricas, de qualquer configuração de condutores, para qualquer frequência entre 0,0001 Hz e 500 kHz. Aqui utilizaremos a frequência do SIN – 60 Hz.

A solução indicada para os trechos considerou a modelagem dos trechos aéreo, subterrâneo e submarino de acordo com projetos usuais para estes tipos de linhas, ou seja, trecho aéreo em estruturas de circuito duplo vertical, subterrâneo em valas com disposição vertical dos cabos e sistema de aterramento cross bonding e trecho submarino com disposição horizontal dos cabos e aterramento em ambas extremidades. Na referida simulação foram adotados os dados de cabos típicos para 230 kV.

### 3.1 Aplicação do modelo LCC para Linhas de Transmissão Aéreas

A linha de transmissão aérea simulada tem as seguintes características:

- Frequência: 60 Hz
- Silhueta típica: Autoportante de suspensão leve, CD.
- Cabo condutor: CAL 1120 937 kcmil
- Para-raios: OPGW 15,4mm / Dotterel

Na Fig. 4, são apresentadas as configurações iniciais de entrada:



Fig. 4. Opções de tipo de sistema para linhas aéreas.

Todas as condições básicas de projeto foram consideradas, como: resistividade do solo, frequência nominal de operação e comprimento da linha de transmissão, conforme Fig. 5:

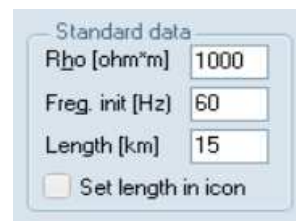


Figura 5. Dados para os modelos de linha aérea

A Fig. 6, apresenta a silhueta utilizada no estudo denominada estrutura autoportante de suspensão leve de circuito duplo:

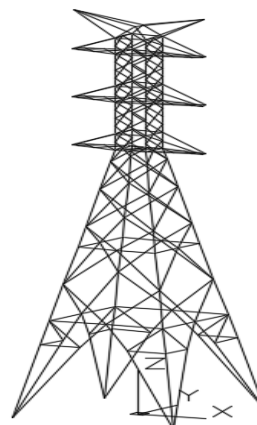


Fig. 6. Silhueta típica visão 3D.

A configuração da página de dados no software ATP DRAW para a linha de transmissão aérea contém os campos de entrada onde são especificados os dados geométricos e as características dos cabos condutores e para-raios.

São especificados também o número da fase, diâmetro e número de cabos condutores e para-raios, feixe, posições do condutor e para-raios, como pode ser visto na Fig. 7:

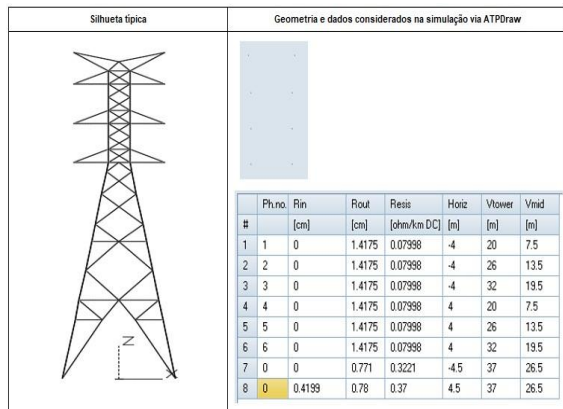


Fig. 7. Modelagem do trecho aéreo no ATP

### 3.2 Aplicação do modelo LCC para Linhas de Transmissão Subaquática

O trecho subaquático da linha de transmissão em estudo tem uma extensão de 13 km. A linha de transmissão tem dois circuitos com um cabo condutor por fase e dois cabos de fibra ótica por fase com 24 fibras cada, inseridos no interior dos cabos isolados. Para a modelagem, considerou-se cabos a 1 m de profundidade no leito marinho e nas praias. A Fig. 8 apresenta a seção típica da instalação dos cabos no leito marinho proposta pelos estudos da EPE:

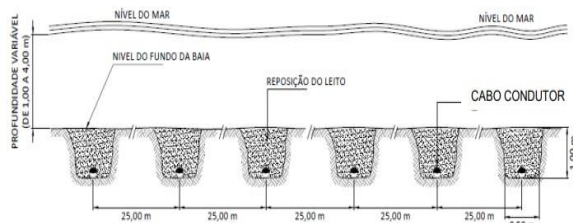


Fig. 8. Corte proposto da instalação dos cabos no leito marinho

O trecho subaquático apresenta as seguintes características:

- Frequência: 60 Hz
- Fator de carga: 80%
- Corrente de curto circuito fase-terra: 40 kA
- Duração do curto circuito: 0,5 s
- Tipo de aterramento da blindagem metálica: aterrado nas duas extremidades
- Blindagem metálica: Liga de chumbo extrudada
- Material da Isolação: XLPE
- Número de cabos da instalação: 6
- Seção do condutor: 1.200 mm<sup>2</sup> Al

A entrada de dados no software ATP DRAW para a linha de transmissão subaquática contém as dimensões da seção típica de

instalação dos cabos no leito marinho, as características do cabo isolado, blindagem e armadura como podem ser observadas na Fig. 9:

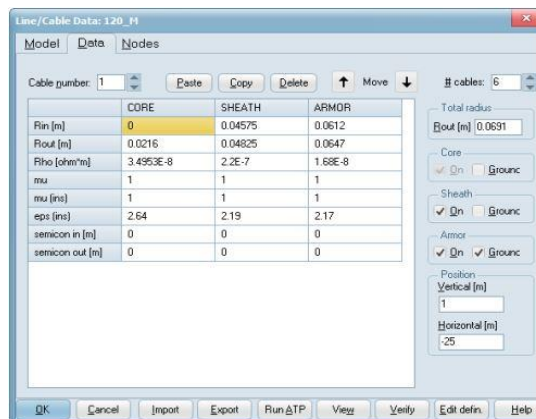


Fig. 9. Modelagem do trecho subaquático no ATP

### 3.3 Aplicação do modelo LCC para Linhas de Transmissão Subterrânea

A Fig. 10 apresenta a seção típica do banco de dutos dos cabos isolados do trecho subterrâneo proposto no estudo:



Fig. 10. Seção típica do banco de dutos

A linha de transmissão subterrânea tem as seguintes características:

- Frequência: 60 Hz;
- Fator de carga: 80%;
- Corrente de curto circuito fase-terra: 40 kA
- Duração do curto circuito: 0,5 s
- Tipo de aterramento da blindagem metálica: Cross bonding;
- Seção do condutor: 1.600 mm<sup>2</sup> Al
- Material da Isolação: XLPE
- Número de cabos da instalação: 6

A configuração da página de dados no software ATP DRAW para a linha de transmissão subterrânea contém as dimensões da seção típica de instalação dos cabos isolados na vala, as características construtivas do cabo isolado, blindagem e a indicação do comprimento onde é realizado a transposição de todas as fases nas caixas de emendas de forma a manter as tensões equilibradas, como podem ser observadas na Fig. 11:

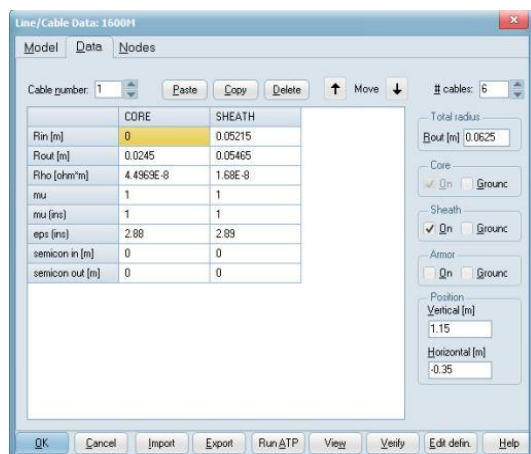


Fig. 11. Modelagem do trecho Subterrâneo no ATP

### 3.4 Modelagem da linha de transmissão híbrida

Nas Fig. 12 e 13 são apresentadas a modelagem da linha híbrida, contemplando as principais características de cada trecho de transmissão: aéreo, subaquático e subterrâneo. A simulação considerou uma fonte de tensão ideal.

Os fatores de desequilíbrio da linha de transmissão híbrida foram considerando os seguintes casos de simulação:

- Linha operando a plena carga;
- Linha operando em vazio.

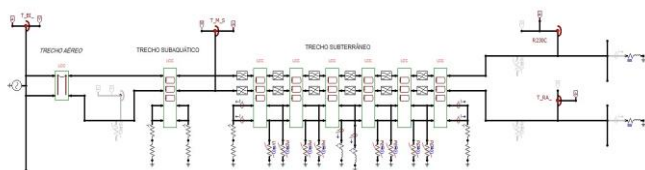


Fig. 12. Modelagem no software ATP a vazio

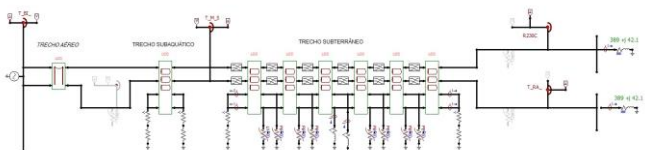


Fig. 13. Modelagem no software ATP a plena carga

Não foi objetivo desta análise fazer o controle da tensão na barra fonte para valores dentro dos limites operacionais da linha, pois não se está considerando qualquer mecanismo de controle de tensão nas barras.

Para avaliar o desequilíbrio, é utilizado o programa ATP no qual foram modeladas as linhas de transmissão considerando o acoplamento entre fases e as características de cada sistema de transmissão. As análises do desequilíbrio de tensão são realizadas em regime permanente, conforme recomendação do procedimento de rede do ONS.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.2 Desequilíbrio de Tensão

Os resultados dos fatores de desequilíbrio da linha da transmissão híbrida na barra receptora são apresentados a seguir:

#### 4.2.1 LT Operando a plena Carga

Tensões de seqüências na barra receptora em módulo (pico):

$$V_0 = 196306,40 \text{ V}$$

$$V_1 = 196361,50 \text{ V}$$

$$V_2 = 196100,40 \text{ V}$$

#### 4.2.2 LT Operando a vazio

Tensões de seqüências na barra receptora em módulo (pico):

$$V_0 = 199544,90 \text{ V}$$

$$V_1 = 199333,20 \text{ V}$$

$$V_2 = 199434,30 \text{ V}$$

A seguir é apresentado os resultados dos fatores de desequilíbrios obtidos na barra receptora oriundos dos trechos aéreo, subterrâneo e subaquático:

#### 4.2.3 Fator de desequilíbrio a plena carga

$$M_0 = 0,1871 \%$$

$$M_2 = 0,1065 \%$$

#### 4.2.3 Fator de desequilíbrio a vazio

$$M_0 = 0,1027 \%$$

$$M_2 = 0,0931 \%$$

Observa-se que, para a situação de plena carga, que representa o carregamento máximo previsto para a linha de transmissão, o valor encontrado foi de 0,1871%, abaixo de 1,50% estipulado pela ANEEL. Para o caso da linha operando à vazio, os desequilíbrios de tensão de seqüência zero e seqüência negativa não chegam a 0,1027%.

Esse resultado satisfatório advém da contribuição no trecho subterrâneo considerando sua transposição por crossbonded seccionado em 6 segmentos mantendo as tensões equilibradas, em acordo ao solicitado pelo procedimento de rede onde transcreve que em uma linha subterrânea com comprimento superior a 1.000 metros deve conter um ciclo completo de transposição de fases. Além disso, a extensão total de apenas 32 km na linha de transmissão influenciou de forma positiva.

Para demonstrar como a extensão total da linha de transmissão influencia nos fatores de desequilíbrio de tensão, foi realizado a seguir uma variação da extensão total da linha de transmissão até se atingir a violação do limite de 1,5% com uma extensão total de 132 km.

**Tabela 1. Simulação de desequilíbrio de tensão x km**

Extensão	Carregamento	$M_0$ (%)	$M_2$ (%)
32 km	Plena Carga	0,1871	0,1065
	à Vazio	0,1027	0,0931
52 km	Plena Carga	0,6573	0,3846
	à Vazio	0,4048	0,4018
72 km	Plena Carga	0,9783	0,6626
	à Vazio	0,7608	0,7528
92 km	Plena Carga	1,0326	1,1488
	à Vazio	0,9225	0,9158
112 km	Plena Carga	1,1112	1,2422
	à Vazio	1,0795	1,0762
132 km	Plena Carga	<b>1,5416</b>	<b>1,6919</b>
	à Vazio	1,3625	1,3643

Ademais, outro fator que pode afetar os limites de desequilíbrio de tensão é possíveis expansões do sistema de transmissão como, por exemplo, a linha em estudo ser seccionada no futuro. Dependendo do comprimento do trecho de seccionamento, nível de curto-circuito e do barramento na SE para a qual um dado o seccionamento é feito, as tensões podem ser amplificadas a níveis superiores aos admissíveis. Para corroborar tal afirmação, a seguir, é apresentado o resultado do caso de simulação, considerando no estudo de caso um seccionamento inserido no km 10 do trecho aéreo em uma extensão de 50 km, onde o nível de tensão do barramento imaginário de referência na SE fosse de 230 kV.

**Tabela 2. Simulação do desequilíbrio de tensão após o seccionamento**

Caso	Carregamento	$M_0$ (%)	$M_2$ (%)
Nova SE	Plena Carga	1,0115	1,1008
	à Vazio	0,8225	0,9257

Como pode ser observado, considerando o seccionamento da LT, as tensões apresentaram um aumento significativo e o limite máximo de desequilíbrio de tensão foi de 1,1008% aproximando do valor máximo admissível. Nos editais da ANEEL, uma das condições exigidas, quando do seccionamento de uma dada LT, é uma nova verificação dos casos de desequilíbrios de tensão na linha de transmissão. Caso os resultados sejam superiores a 1,5%, em vazio e/ou a plena carga, a LT deve conter, no mínimo, um ciclo completo de transposição de fases.

## 5. CONCLUSÃO

Conforme discutido no presente artigo, o desequilíbrio de tensão provoca um aumento considerável das perdas elétricas contribuindo para o desperdício de energia elétrica, pela queda de tensão (desequilibrada) na linha de transmissão. Com o auxílio do software ATP DRAW foi possível realizar a modelagem da linha de transmissão composta por trecho aéreo, subaquático e subterrâneo onde os resultados indicaram que os desequilíbrios de tensão nas barras das SEs operam dentro dos limites de 1,5 %, tanto para a sequência zero quanto para sequência negativa não sendo necessária implementar um esquema adicional de transposição de fases. É necessário, portanto, atenção a futuras expansões do sistema de transmissão. Um possível seccionamento da linha de transmissão aumenta significativamente as tensões e o nível de curto-circuito ao longo da linha de transmissão em relação a situação anterior, precisando dessa forma uma reavaliação dos estudos de desequilíbrio de tensão. Essa reavaliação é importante, pois as tensões máximas nos respectivos terminais devem ser respeitados, para cada uma das condições operativas previstas, de forma a evitar a violação das tensões máximas operativas admissíveis nos barramentos ou das tensões máximas sustentadas admissíveis no

terminal. Além disso, como demonstrado no estudo de caso, uma possível necessidade em aumentar a extensão da linha de transmissão pode acarretar a violação dos limites de equilíbrio de tensão. Diante do exposto, conclui-se que o objetivo principal deste trabalho foi alcançado. Uma proposta de análise técnica de desequilíbrio de tensão e perdas elétricas para qualificar a implantação de um sistema de transmissão híbrida levando em consideração as características de cada sistema de transmissão.

## 6. REFERÊNCIAS

- A.J. de Oliveira Lima, W.J. Lee, F.G de Oliveira. (2009). *Transição de Linhas de Transmissão Aérea para Subterrânea: para cada instalação uma solução diferente*. Encontro regional Ibero-Americano do CIGRÉ - XIII ERIAC. Argentina.
- ANEEL. PRODIST.(2022).*Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional: Qualidade da Energia Elétrica*. Brasília, Módulo 8.
- ATP. (2001). *Alternative Transients Program Rule Book*.
- CIGRÉ BRASIL – Grupo de Trabalho B1.05. (2016). *Acoplamento de Linhas de transmissão aéreas e subterrâneas- Recomendações - Técnicas para as Concessionárias Brasileiras*. Rio de Janeiro.
- Eduardo K. F., Waldir G., Roberto D. T. J., Sérgio L. C., (2009). *Ramal de transição aéreo x subterrâneo alimentação da subestação Recreio em 138kV*. Encontro regional Ibero-Americano do CIGRÉ - XIII ERIAC.
- EPRI. (1982). *Transmission line reference book, 345 kV and above.. 2 edition*. Pittsfield : Electric Power Research Institute.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. (2014). *Análise Técnico-Econômica de Alternativa na Região de Florianópolis”. Relatório de Administração*. Rio de Janeiro – RJ.
- Ferreira Filho. (2008). *Análise do Comportamento do Fator do Desequilíbrio Frente a Variação da Amplitude e do ângulo da Tensão*. Ph.D. dissertation, Universidade de Brasília.
- IEC 60287-1-1.(2006). *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations (100% loadfactor) and calculation of losses - general*, Edition 2.0.
- IEC 60287-2-1. (2015). *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 2-1: Thermal resistance – calculation of thermal resistance*, Edition 2.0.
- IEC 60287-3-1. (2017). *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 3-1: Operating conditions – Site reference conditions*, Edition 2.0.
- Joao H. M. A., Dourival S. C. J.; Sergio F. F. L.; Fabiano S.; Carlos B. C. C. (2019). *Linhas de transmissão com cabos isolados de alta e extra alta tensão no Brasil: uma realidade com demanda crescente*. Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - XXV SNPTEE, Belo -Horizonte, MG.
- Vinicius S. L., Emmanuel P. M.; José V. P. J., Chander P. M. S., Thiago M. V. P., Paulo E. A. J. (2019). *Flexibilização do sistema elétrico em região litorânea de forma compacta: adotando linha de transmissão mista (aérea + subterrânea)*. Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. XXV SNPTEE, Belo -Horizonte, MG.