

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAEL ZAMPIERI FRAMIL ARRUDA

**SIMULAÇÃO DE ENERGIZAÇÃO E ANÁLISE DE FALTAS DE
LINHA DE TRANSMISSÃO 230 kV LINHARES-ES A SÃO MATEUS-ES
EM PARCERIA COM A EMPRESA ENGELMIG ENERGIA**

VIÇOSA
2019

RAFAEL ZAMPIERI FRAMIL ARRUDA

**SIMULAÇÃO DE ENERGIZAÇÃO E ANÁLISE DE FALTAS DE
LINHA DE TRANSMISSÃO 230 kV LINHARES-ES A SÃO MATEUS-ES
EM PARCERIA COM A EMPRESA ENGELMIG ENERGIA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos da Costa Campos.

VIÇOSA
2019

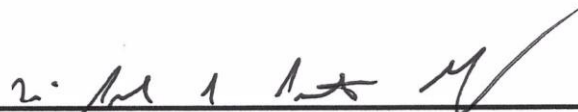
RAFAEL ZAMPIERI FRAMIL ARRUDA

**SIMULAÇÃO DE ENERGIZAÇÃO E ANÁLISE DE FALTAS DE
LINHA DE TRANSMISSÃO 230 kV LINHARES-ES A SÃO MATEUS-ES
EM PARCERIA COM A EMPRESA ENGELMIG ENERGIA**


Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 13 de Março de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. José Carlos da Costa Campos - Orientador
Universidade Federal de Viçosa



Prof. Dr. José Tarcísio de Resende - Membro
Universidade Federal de Viçosa



Eng. Luciano Freitas Batista Filho - Membro
Universidade Federal de Ouro Preto

“Saber e sabedoria, coisas distintas, o saber é obtido através de estudo, de contato profundo com a literatura, a sabedoria é o conhecimento empírico, absorvido da observação, “observar e absorver”, das relações autênticas, cheias de humildade para reconhecer que sempre se pode aprender mais e absorver as lições obtidas com o próximo. Nem sempre quem detém o saber é capaz de aprimorar a saberia, pois em muitos casos a sensação de domínio do saber culmina na arrogância, porém o pré-requisito do aprimoramento da sabedoria é a humildade ...”

(Eduardo Marinho)

*Dedico este trabalho a família e amigos, que com apoio incondicional permitiram
que este sonho fosse realizado.*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pela dádiva da vida. Agradeço meus pais José Benedito Fernandes e Anizete Zampieri Framil Fernandes, a minha irmã Júlia Zampieri Framil Arruda e ao meu cunhado Fábio Ballester pelo apoio diário incondicional durante esta trajetória, agradeço também aos tios José Almir Resende, Cláudia Conde, Rosângela Watanabe e Sirley Conde pelo apoio. Agradeço ao professor José Carlos da Costa Campos por tirar seu tempo livre para incansavelmente executar contatos com empresas objetivando inserir o estudante ao mercado de trabalho. Agradeço a Engelmig Energia por gentilmente abrir as portas da empresa, permitindo que este trabalho acontecesse. Agradeço a todos os colegas de curso que em todos estes anos de graduação gentilmente auxiliaram sempre que uma barreira surgia. Por fim agradeço a Universidade Federal de Viçosa por disponibilizar todo fomento necessário.

Resumo

Este trabalho possui objetivo de desenvolver uma simulação de energização e análise de faltas gerais de uma linha de transmissão de 230 kV, abrangendo 102 km de distância entre as cidades de Linhares – ES e São Mateus – ES, composta por 225 torres de transmissão. Para realizar tal simulação será utilizado o software *Simulink (Matlab)*. Foram coletados dados cedidos pela empresa Engelmig Energia, dos parâmetros fundamentais da linha de transmissão, são eles, a resistência em série (representa a perda de potência ativa), condutância em paralelo (representa a fuga de corrente para os isoladores), indutância em série (representa os efeitos do campo magnético, devido à movimentação dos elétrons) e capacitância em paralelo (representa os efeitos do campo elétrico, devido à presença de elétrons).

Abstract

This work aims to develop a simulation of the energization of a 230 kV transmission line, covering, composed of 225 transmission towers, and covering a distance 102 km between the cities of Linhares - ES and São Mateus - ES. To perform such simulation, the *Simulink* (*Matlab*) software will be used. Data, collected by the company Engelmig Energia, from the fundamental parameters of the transmission line, are series resistance (represents the loss of active power), conductance in parallel (represents the current leakage to the insulators), series inductance (representing the effects of the magnetic field due to electron motion) and parallel capacitance (representing the effects of the electric field due to the presence of electrons).

Sumário

1	Introdução.....	14
1.1	O que é GTD	15
1.1.1	Geração de energia elétrica.....	15
1.1.2	Transmissão de energia elétrica.....	17
1.1.3	Distribuição de energia elétrica	18
1.2	Agências regulamentadoras do sistema elétrico brasileiro.....	19
1.2.1	Ministério de Minas e Energia	19
1.2.2	Conselho Nacional de Pesquisa Energética.....	19
1.2.3	Comitê de Monitoramento do Sistema Elétrico	19
1.2.4	Empresa de Pesquisa Energética	20
1.2.5	Agência Nacional de Energia Elétrica.....	20
1.2.6	Operador Nacional do Sistema Elétrico	20
1.2.7	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica	20
1.3	Características da linha de transmissão Linhares-ES São Mateus-ES	21
1.3.1	Cidades	21
1.3.2	Linha de transmissão	21
1.4	Tipos de faltas em linhas de transmissão	22
1.4.1	Falta trifásica (fase-fase-fase).....	22
1.4.2	Falta trifásica (fase-fase-fase-terra).....	23
1.4.3	Falta bifásica (fase-fase).....	24
1.4.4	Falta bifásica (fase-fase-terra)	24
1.4.5	Falta monofásica (fase-terra).....	25
1.5	Dispositivos de proteção da linha de transmissão	25
1.5.1	Relé.....	25
1.5.2	Disjuntor	27
2	Materiais e Métodos	29
2.1	Torres	29
2.1.1	Torre estaiada	29
2.1.2	Torre autoportante	30
2.2	Cabos condutores.....	32
2.2.1	Características do cabo condutor utilizado.....	32
2.3	Cabos para-raios	34
2.3.1	Cabo para-raio aço galvanizado 3/8’’ EHS	34
2.3.2	Cabo para-raio Doterrel	35

2.3.3	Cabo para-raio OPGW.....	37
2.4	Isoladores.....	38
2.5	Parâmetros fundamentais da linha	40
2.5.1	Torres LMAA/LMAT	41
2.5.2	Torre LMSP.....	41
2.5.3	Torre LMSE.....	42
2.5.4	Torre LMEL	42
2.6	Simulação.....	43
3	Resultados e Discussão	47
3.1	Energização da linha.....	47
3.2	Falta fase-terra(FT).....	48
3.3	Falta fase-fase-terra(FFT).....	49
3.4	Falta fase-fase-fase-terra(FFFT).....	50
3.5	Falta fase-fase(FF).....	51
3.6	Falta fase-fase-fase(FFF).....	52
3.7	Comparativo	53
3.8	Fatores influentes a intensidade do pico da corrente subtransitória de falta	53
4	Conclusões.....	56
	Referências Bibliográficas	57

Lista de Figuras

Figura 1.1 -Níveis de tensão dos segmentos de potência.....	15
Figura 1.2 – Modelo fotovoltaico de geração distribuída.....	16
Figura 1.3 – Gerador de energia elétrica	16
Figura 1.4 – Matriz energética brasileira 2014 e previsão 2019.....	17
Figura 1.5 – Transformador abaixador de distribuição WEG	18
Figura 1.6 – Hierarquia órgãos regulamentadores do sistema elétrico	20
Figura 1.7 – Torre de transmissão linha Linhares-SãoMateus Fonte: Engelmig Energia	22
Figura 1.8 – Representação de falta FFF	23
Figura 1.9 – Representação de falta FFFT	23
Figura 1.10 – Representação de falta FF	24
Figura 1.11 – Representação de falta FFT	24
Figura 1.12 – Representação de falta FFT	25
Figura 1.13 – Relé eletromecânico (esquerda) e relé digital (direita).....	26
Figura 1.14 – Função térmica de um disjuntor	27
Figura 1.15 – Função magnética do disjuntor	28
Figura 2.1 – Projeto torre LMEL.....	29
Figura 2.2 – Torre LMSP (Esquerda) e Torre LMAT (Direita).....	30
Figura 2.3 – Torre LMSE (Esquerda) e Torre LMAA (Direita).....	31
Figura 2.4 – Empresa fornecedora dos cabos condutores.....	32
Figura 2.5 – Catálogo cabo condutor 806,50 MCM CAL 1120.....	33
Figura 2.6 – Cabo condutor 806,50 MCM CAL 1120.....	33
Figura 2.7 – Cabo condutor 806,50 MCM CAL 1120.....	34
Figura 2.8 – Catálogo cabo para-raio 3/8’’ EHS.....	35

Figura 2.9 – Bobinas cabo para-raios 3/8’’.....	35
Figura 2.10 – Catálogo cabo Doterrel 336,4 MCM CAA.....	36
Figura 2.11 – Bobinas cabo para-raios Doterrel.....	37
Figura 2.12 – Catálogo cabo condutor DUAL 24F.....	37
Figura 2.13 – Bobinas fibra OPGW.....	38
Figura 2.14 – Isoladores compensados 230 kV.....	39
Figura 2.15 – Catálogo isolador compensado 230 kV.....	39
Figura 2.16 – Bloco simulador de linha de transmissão.....	39
Figura 2.17 – Simulação em ambiente Simulink LT Linhares-São Mateus.....	39
Figura 3.1 – Tensão de linha da linha de transmissão.....	47
Figura 3.2 – Corrente das fases da linha de transmissão.....	47
Figura 3.3 – Simulação de falta assimétrica na fase A.....	48
Figura 3.4 – Ação do sistema de proteção.....	49
Figura 3.5 – Simulação falta FFT entre as fases A e B.....	50
Figura 3.6 – Simulação falta simétrica FFFT.....	51
Figura 3.7 – Simulação falta FF entre as fases A e B.....	51
Figura 3.8 – Simulação falta FFF simétrica.....	52
Figura 3.9 – Variação do pico de corrente subtransitória em função da resistência de falta....	54
Figura 3.10 – Variação do pico de corrente subtransitória em função da posição na linha na qual ocorre a falta.....	55

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Dimensionamentos estruturais torres autoportantes.....	32
Tabela 2.2 – Distâncias torres LMAA/LMAT.....	41
Tabela 2.3 – Distância torres LMSP.....	41
Tabela 2.4 – Distância torres LMSE.....	42
Tabela 2.5 – Distância torres LMEL.....	42
Tabela 3.1 – Comparativo entre os picos de corrente subtransitória entre as faltas.....	53

1 Introdução

As linhas de transmissão são parte integrante de GTD (geração, transmissão e distribuição de energia elétrica). O objetivo das linhas de transmissão é transportar energia das fontes de energia (usinas geradoras) até as subestações de distribuição de energia. As distâncias percorridas pelas linhas de transmissão são costumeiramente longas, pois a geração de energia no Brasil, em grande parte hidroeletricidade, localizada na maior parte em locais remotos, distantes dos centros consumidores (SAADAT,2010). Com isso faz-se vital para a alimentação dos centros consumidores a construção de extensas linhas de transmissão.

Atualmente no Brasil, segundo dados governamentais, as linhas de transmissão que percorrem o território nacional já ultrapassam 107 mil quilômetros de extensão, distância esta que supera duas voltas e meia a circunferência da terra (GOVERNO BRASILEIRO,2018).

A dependência de energia elétrica pela humanidade está em ascensão cada vez forte com a passagem dos anos. A substituição de aparelhos movidos pela queima de combustíveis por aparelhos elétricos está abrangendo novos setores produtivos cada vez mais. Por exemplo, equipamentos como ferro à brasa, aquecedores à lenha, aparelhos de jardinagem, serras, bombas de compressão de água que por sua vez operavam com motores à combustão interna foram substituídos por motores elétricos. Até setores fortes da economia, como o setor automobilístico, estão incorporando os motores elétricos a sua produção, devido ao grande número de vantagens dos mesmos, como a não emissão de gases poluentes, a não dependência de combustíveis fósseis, a facilidade de recarregamento, a alta eficiência disponibilizada, entre outros.

A importância das linhas de transmissão também é vital, principalmente, pela incapacidade de armazenamento de energia em corrente alternada, ou seja, o consumo de energia pelas cargas impõe que a produção de energia seja simultânea ao consumo, como o consumo é ininterrupto, logo a geração de energia também deve possuir caráter ininterrupto. Logo a ponte geração-consumo, que em parte é feita pelas linhas de transmissão, não pode ser seccionada, então problemas rotineiros como faltas devem ser instantaneamente resolvidos, logo uma análise de faltas e uma manutenção periódica nas linhas de transmissão são pontos cruciais para o bom fornecimento de energia às cargas.

Vê-se na figura 1.1 o diagrama com a representação dos vários segmentos do sistema de potência, com seus respectivos níveis de tensão. Nota-se então, pela visualização da figura 1.1 que a linha de transmissão tema deste trabalho (LT-230 kV ligação Linhares-ES a São Mateus-ES) enquadra no segmento de alta tensão (AT), em um intervalo de 35 kV a 230 kV, fornecendo energia para grandes consumidores, como indústrias e cidades (NUNES,2016).

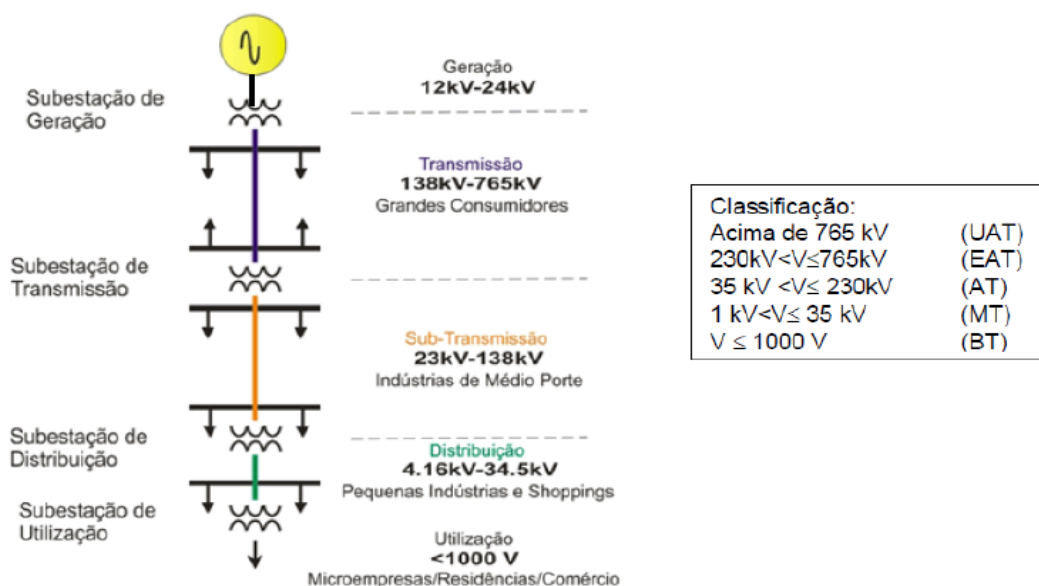


Figura 1.1-Níveis de tensão dos segmentos de potência (NUNES,2016)

1.1 O que é GTD

1.1.1 Geração de energia elétrica

A geração de energia elétrica é responsável por converter energia mecânica em energia elétrica (no caso das gerações que utilizam geradores elétricos, como as usinas eólicas, termelétricas e hidrelétricas) (SAADAT,2010). Também responsáveis por converter energia luminosa, dos raios ultravioletas emitidos pelo Sol. Executada pelas usinas solares, com o uso dos painéis fotovoltaicos, fonte essa que cresce a cada dia, principalmente na chamada geração distribuída (LEÃO,2009).

A geração distribuída consiste na carga, no caso o consumidor, produzir sua própria energia, logo seu consumo é suprido pela própria geração, em alguns casos a geração além de suprir a demanda do consumidor também é injetada na rede, trazendo redução nos tributos

referentes ao consumo de energia elétrica (LEÃO,2009). Através de um medidor bidirecional, é possível medir quanto de potência é consumida pela carga e quanto de potência foi injetada na rede pela mesma (PRADO;PISSOLATO;BOLOVATO,2007).

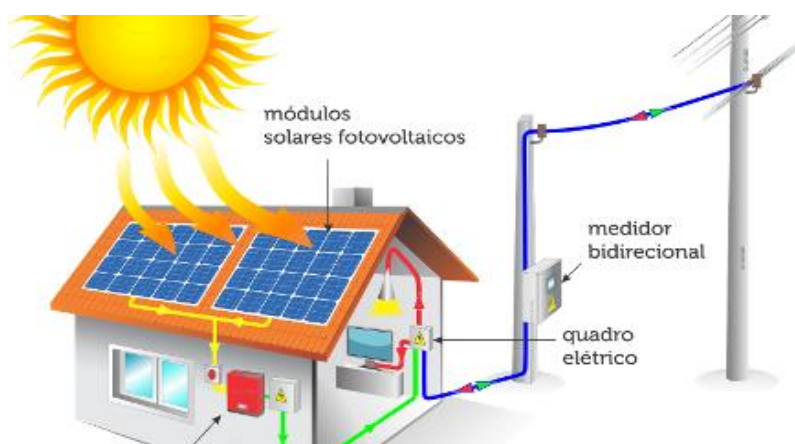


Figura 1.2 – Modelo fotovoltaico de geração distribuída (LEÃO,2009)

As demais fontes de geração (hidrelétrica, térmica, termo-nuclear, eólica) constituintes da matriz energética possuem como base a conversão eletromecânica de energia, ou seja, converter energia mecânica (rotação do eixo do gerador) em energia elétrica. Como visto na figura 1.3 (CHAPMAN,2012).



Figura 1.3 – Gerador de energia elétrica (CHAPMAN,2012)

No Brasil, como visto na figura 1.4, a maior participação na matriz energética nacional provém da hidroeletricidade, com previsão de 69% para o próximo ano. Uma fonte de energia que vem tendo crescimento é a geração eólica (ONS,2018).

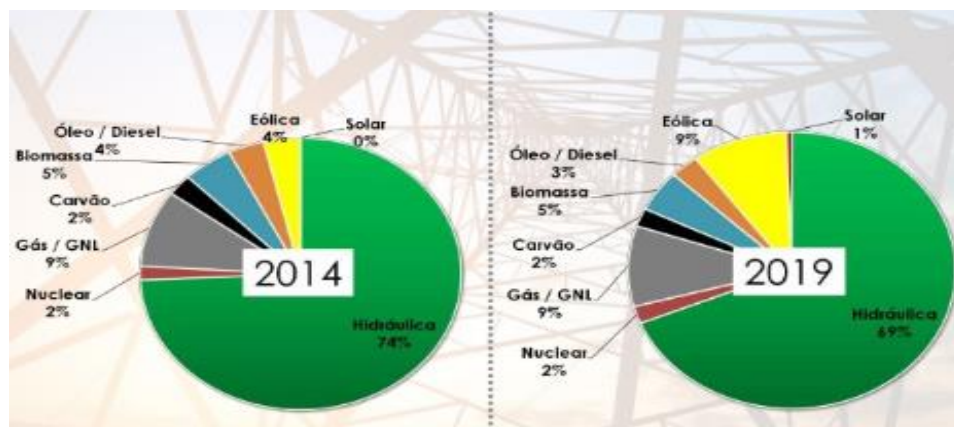


Figura 1.4 – Matriz energética brasileira 2014 e previsão 2019 (ONS,2018)

1.1.2 Transmissão de energia elétrica

A transmissão de energia, como visto, é responsável pela interligação das fontes geradoras com os setores de distribuição que alimentam os centros consumidores. O setor de transmissão é basicamente composto por quatro componentes, torre, cabo condutor e para-raio e isolador (POMILIO;MARAFAÇO,2004).

A torre tem por objetivo isolar os condutores entre si (divisão em três fases) e isolar os condutores do solo, afim de evitar perdas de potência e incidência de acidentes envolvendo descarga elétrica, e envolvendo indução de corrente devido ao campo magnético. A torre deve ser projetada levando em conta a topografia e relevo do local, a incidência de chuvas e a velocidade média de vento, e a altura necessária para que os condutores fiquem ancorados de forma segura (CAMPOS,2009).

Os condutores têm por objetivo interligar a geração à subestação e permitir o fluxo de corrente. Os cabos para-raios têm por finalidade evitar problemas na linha devido à descargas atmosféricas (CAMPOS,2009).

Os isoladores, como o próprio nome diz, devem isolar os equipamentos que não devem possuir passagem de corrente, por exemplo, as torres, fixadas ao solo e passíveis de contato com pessoas e animais, devem ser isoladas, para isso utiliza-se as cadeias de

isoladores que permitem o cabo fluir de um lado a outro da torre isolando a mesma (procedimento chamado de jumper) (CAMPOS,2009).

1.1.3 Distribuição de energia elétrica

Distribuição de energia elétrica consiste na última etapa do sistema elétrico de potência. Seu objetivo consiste em receber a alimentação das linhas de transmissão em alta tensão e através de transformadores, reduzir a tensão para alimentar a rede que interliga os consumidores. O rebaixamento de tensão usualmente é de uma escala de 138 kV a 500 kV da transmissão para 2 kV a 35 kV na distribuição (CAMPOS,2009).

A distribuição primária que sai das subestações de transmissão usualmente possui faixa de tensão de 11 kV a 22 kV, somente grandes consumidores são alimentados diretamente a partir da distribuição primária. A maioria dos consumidores de serviços públicos está conectada a um transformador, o que reduz a tensão de distribuição para a baixa tensão usada pelos sistemas de iluminação. O padrão usual de tensão da baixa tensão é de 1 kV (CAMPOS,2009).

A distribuição secundária é responsável por captar a alimentação da rede primária, com tensão de 11 kV a 22 kV, usualmente adotada no Brasil a tensão de 13,8 kV, e, através de um transformador localizado no postes, chamado de transformador de distribuição, como visto na figura 1.5 (WEG,2018). Este por sua vez possui função de reduzir para baixa tensão, valores inferiores a 1 kV, o fornecimento nesta escala no Brasil geralmente é realizado a uma faixa de tensão de 127 V monofásica e 220 V bifásica (CAMPOS,2009).



Figura 1.5 – Transformador abaixador de distribuição WEG (WEG,2018)

1.2 Agências regulamentadoras do sistema elétrico brasileiro

O sistema elétrico de potência brasileiro é extenso e complexo, envolvendo diversas áreas de atuação, milhares de prestadores de serviços e milhões de consumidores. Um mecanismo complexo como este necessita de leis e regulamentações para funcionar adequadamente. Daí vem a função das agências regulamentadoras que criam leis e diretrizes para regulamentar o a geração e fornecimento de energia, além de exercer a fiscalização.

1.2.1 Ministério de Minas e Energia

O Ministério de Minas e Energia (MME) é o órgão federal responsável por formular e fiscalizar políticas públicas referentes nas áreas de geologia, mineração, aproveitamento de energia hidráulica, metalurgia, petróleo e fontes de geração de energia elétrica, inclusive a nuclear. Além disto, o MME também objetiva zelar pelo equilíbrio estrutural entre o setor de geração de energia elétrica e o setor de consumo (MINISTERIO MINAS E ENERGIA,2018).

1.2.2 Conselho nacional de pesquisa energética

O Conselho Nacional de Pesquisas Energéticas (CNPE) tem por finalidade assessorar o presidente da república vigente sobre a criação de leis e diretrizes no âmbito da evolução da eficiência de geração de energia, ou seja, medidas para utilizar de maneira próxima ao ótimo as fontes energéticas. Também é responsável pela análise da utilização dos recursos energéticos pelo país afim de revisar periodicamente a matriz energética brasileira. O CNPE responde apenas ao MME (MINISTERIO MINAS E ENERGIA,2018).

1.2.3 Comitê de monitoramento do setor elétrico

O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) tem um objetivo claro, fiscalização permanente de todos os tópicos relacionados à segurança no setor energético brasileiro. O CMSE reporta diretamente ao MME (MINISTERIO MINAS E ENERGIA,2018).

1.2.4 Empresa de pesquisa energética

A empresa de pesquisa energética (EPE) é um órgão federal cuja função consiste em prestar serviços na área de estudos e pesquisas que posteriormente servirão como base para tomadas de decisões referentes ao setor energético. A EPE responde diretamente ao MME.

1.2.5 Agência nacional de energia elétrica

A agência nacional de energia elétrica (ANEEL) tem por finalidade regular e fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica em todos os seus setores sob o aspecto do cumprimento e adequação as leis e diretrizes vigentes. A ANEEL responde diretamente ao MME (MINISTERIO MINAS E ENERGIA,2018).

1.2.6 Operador nacional do sistema elétrico

O Operador Nacional do Sistema (ONS) tem por objetivo realizar a coordenação e controle das operações de geração e transmissão de energia elétrica, ou seja, a ONS é responsável pela coordenação da operação, na prática, do sistema elétrico. O ONS reporta a ANEEL (MINISTERIO MINAS E ENERGIA,2018).

1.2.7 Câmara de comercialização de energia elétrica

A Câmara de comercialização de energia elétrica (CCEE) tem finalidade administrar os contratos de compra e venda relacionadas à comercialização de energia elétrica, ou seja, a CCEE é responsável pela parte comercial do sistema de energia elétrica. A CCEE reporta diretamente a ANEEL (MINISTERIO MINAS E ENERGIA,2018).

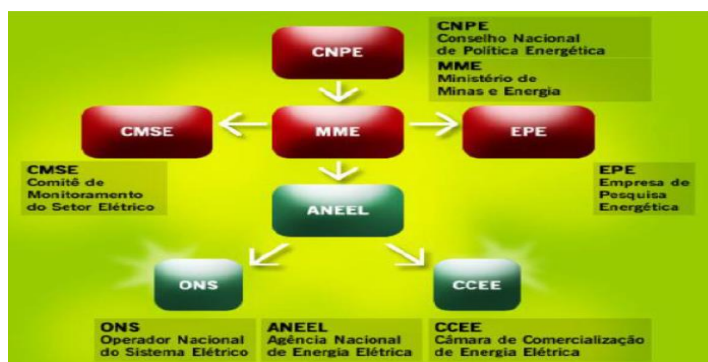


Figura 1.6 – Hierarquia órgãos reguladores do sistema elétrico (MME,2018)

1.3 Características linha de transmissão Linhares-ES a São Mateus-ES

Empreendimento arrematado pela empresa Engelmig Energia S/A, com sede em Manhauçu, possui objetivo de construir uma linha de transmissão de alta tensão (230 kV) que interliga a cidade de Linhares a cidade de São Mateus, ambas no Espírito Santo.

1.3.1 Cidades

A linha de transmissão tem início da cidade de Linhares-ES, cidade banhada pelo oceano Atlântico possui área de 3.504.138 quilômetros quadrados, com população de 171.000 habitantes e IDH de 0,724 (LINHARES,2018).

A linha de transmissão finaliza na subestação de distribuição da empresa EDP (Energias de Portugal), que fica responsável por distribuir e comercializar a energia que flui da linha de transmissão Linhares-ES - São Mateus-ES. A subestação da EDP localiza-se na cidade de São Mateus-ES, também banhada pelo oceano Atlântico, possui área de 2.338.727 quilômetros quadrados, população de 127.000 habitantes e IDH de 0,735 (LINHARES,2018).

1.3.2 Linha de transmissão

A linha de transmissão Linhares – São Mateus possui 225 torres de transmissão e percorre 102 quilômetros de extensão. O empreendimento da empresa Engelmig Energia S/A consiste em diversas atividades na linha, dentre elas destacam-se:

- Abertura da faixa de serviço.
- Supressão (limpeza) da área no qual será posicionada a torre.
- Escavação, armação e concretagem das cavas de ancoragem da torre.
- Análise topográfica para nivelamento das barras de sustentação (stubs).
- Construção da torre.
- Lançamento, nivelamento e grampeação das três fases dos condutores e do cabo para-raio.



Figura 1.7 – Torre de transmissão linha Linhares-SãoMateus (ENGELMIG ENERGIA,2018)

1.4 Tipos de faltas em uma linha de transmissão

Falta em uma linha de transmissão nada mais é que o contato de condutores energizados com potencial distinto. O contato dos condutores pode ocorrer diretamente (um condutor toca fisicamente outro condutor), ou o contato pode ser indireto, com o aparecimento de arco elétrico, devido ao rompimento do dielétrico entre os condutores.

Faltas em uma linha de transmissão podem ocorrer randomicamente ao longo da linha, em qualquer momento, devido às intempéries, como chuvas fortes, descargas atmosféricas, quedas de grandes árvores, ou também por falhas humanas, como a falta de manutenção (CAMPOS,2009).

1.4.1 Falta trifásica (fase-fase-fase)

Este tipo de falta ocorre quando as três fases da linha de transmissão entram em contato simultâneo, ocorre com certa raridade, representa aproximadamente 5% das faltas em linhas

de transmissão (FERRARO;ARTICO;BIANCO,2013). A falta fase-fase-fase está englobada no grupo de faltas simétricas, pois a falta afeta todas as três fases.

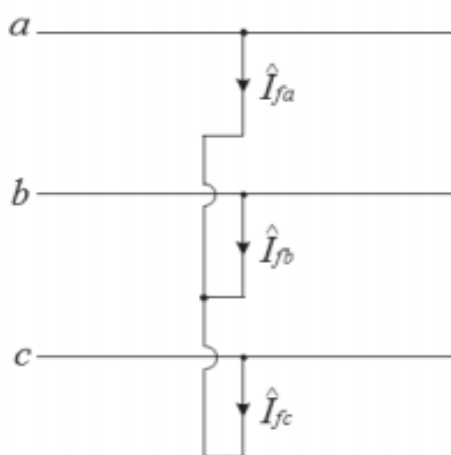


Figura 1.8 – Representação de falta FFF (FERRARO;ARTICO;BIANCO,2013)

1.4.2 Falta trifásica (fase-fase-fase-terra)

A falta fase-fase-fase-terra (FFFT) acontece quando os três condutores entram em contato simultaneamente com o condutor de aterramento, ou com a terra em si, ou seja, quando os três cabos se interligam e caem ao solo (FERRARO;ARTICO;BIANCO,2013). Este tipo de falta enquadra-se nas faltas simétricas e é demasiadamente rara.

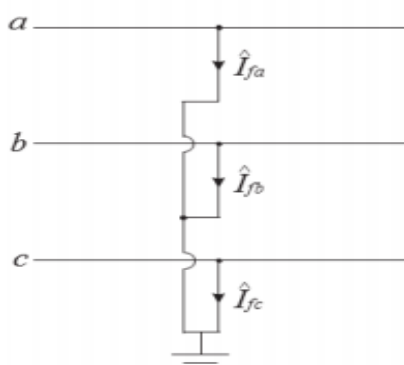


Figura 1.9 – Representação de falta FFFT (FERRARO;ARTICO;BIANCO,2013)

1.4.3 Falta bifásica (fase-fase)

A falta fase-fase (FF) acontece quando dois dos três condutores entram em contato. Este tipo de falta enquadra-se nas faltas assimétricas, pois não afeta todas as fases da linha de transmissão. Este tipo de falta é mais recorrente em linhas de transmissão, consiste em aproximadamente 15% das faltas (FERRARO;ARTICO;BIANCO,2013).

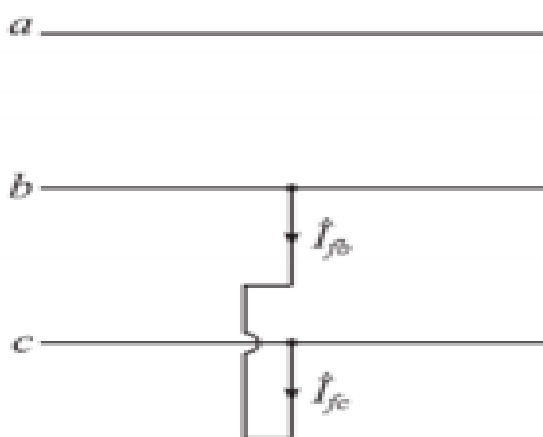


Figura 1.10 – Representação de falta FF (FERRARO;ARTICO;BIANCO,2013)

1.4.4 Falta bifásica (fase-fase-terra)

A falta fase-fase-terra (FFT) é análogo a falta FF, porém ocorre conexão de dois condutores simultânea à terra. Este tipo de falta enquadra-se nas faltas assimétricas, e ocorre quando dois condutores da linha de transmissão tocam o solo. Representa por volta de 10% dos casos de falta (FERRARO;ARTICO;BIANCO,2013).

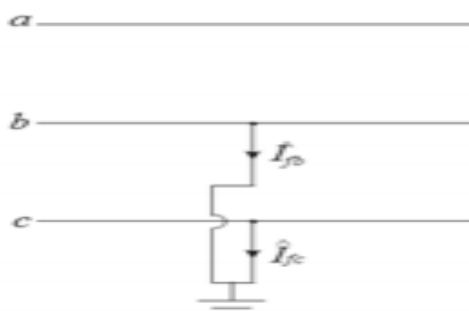


Figura 1.11 – Representação de falta FFT (FERRARO;ARTICO;BIANCO,2013)

1.4.5 Falta monofásica (fase-terra)

A falta fase-terra (FT) ocorre quando um dos três condutores se rompe e entra em contato com o solo. Tal falta enquadra-se no grupo de faltas assimétricas. A falta FT é a de ocorrência mais comum em linhas de transmissão, devido a intempéries da natureza, principalmente queda de árvores, representa por volta de 70% dos casos de falta (FERRARO;ARTICO;BIANCO,2013).

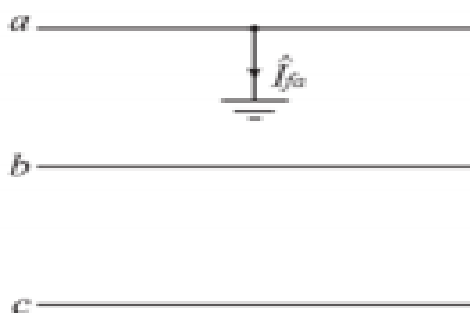


Figura 1.12 – Representação de falta FFT (FERRARO;ARTICO;BIANCO,2013)

1.5 Dispositivos de proteção da linha de transmissão

As faltas podem ocorrer em qualquer ponto da linha em qualquer instante. O agravante da ocorrência de faltas consiste no fato da corrente de curto-circuito provida da falta possui valores demasiadamente elevados, danosos à estrutura da rede e a carga que dela se alimenta. Para isso é necessário identificar e isolar o mais rápido possível o local de falta. Neste contexto insere-se a utilidade dos elementos de proteção (CAMPOS,2009).

1.5.1 Relé

Este dispositivo de proteção tem como função detectar situações anormais na linha de transmissão, ou seja, detectar correntes fora do valor padrão de operação do sistema. Além de detectar correntes anormais o relé tem por finalidade isolar a parte afetada, ou seja, o local no qual ocorreu a falta, fazendo assim com que a corrente de curto-circuito não se propague pela linha (FILHO,2011).

Atualmente no mercado existem alguns tipos de relés com funções específicas. O relé diferencial, que tem por objetivo captar a corrente que entra no relé e a corrente que sai do relé e analisar a diferença entre elas, caso a diferença esteja fora de um intervalo determinado o relé envia um comando para ação de seccionamento do disjuntor. O outro tipo de relé difundido no mercado é o relé de sobrecorrente, este relé tem a função de detectar diretamente quando a corrente na fase da linha de transmissão está acima de um valor estipulado, em caso positivo o mesmo atua, ou seja, em caso de aparecimento de falta em alguma das fases haverá ocorrência de corrente de curto-circuito, que será detectada pelo relé, que atuará. Uma curiosidade sobre o relé de sobrecorrente consiste no fato de que quanto maior a sobrecorrente menor o tempo de atuação do relé (FILHO,2011).

Os relés (diferencial e de sobrecorrente) podem possuir dois princípios de operação, eletromecânicos ou digitais. Relés eletromecânicos possuem uma bobina interna, quando percorrida por corrente a bobina cria um campo magnético dinâmico (variável no tempo), quando a corrente está acima do estipulado o campo induz corrente em um disco, e um condutor percorrido por corrente na presença de campo magnético cria-se uma força, gerando torque e movimentando o disco, desarmando o relé. Relés digitais contém microprocessadores que podem medir os valores de corrente nas fases da linha, assim como analisa-los e armazená-los, e assim coordenar a operação do relé. Os relés digitais também possuem banco de dados, que podem ser acessados pelos técnicos de segurança para saber o histórico de variação da corrente na linha de transmissão (FILHO,2011).



Figura 1.13 – Relé eletromecânico (esquerda) e relé digital (direita) (FILHO,2011)

1.5.2 Disjuntor

Disjuntor é um equipamento de proteção que tem por finalidade isolar o local da linha de transmissão no qual ocorreu a falta. O disjuntor possui característica termomagnética, ou seja, ele realiza proteção contra corrente de sobrecarga (termicamente) e contra corrente de curto-circuito (magneticamente) (FILHO,2011).

A corrente de sobrecarga é uma corrente indevida, fora do intervalo operacional de corrente nas fases da linha, porém a corrente de sobrecarga não distoa muito da corrente nominal. Porém uma corrente um pouco acima do nominal pode reduzir drasticamente a vida útil do sistema e dos aparelhos que são alimentados pela linha, por este motivo a corrente de sobrecarga deve ser detectada e combatida. O disjuntor combate termicamente correntes de sobrecarga, ou seja, o disjuntor possui um elemento bimetálico, composto por dois metais de coeficientes de dilatação distintos, no qual correntes de sobrecarga aquecem e dilatam de maneira desigual os metais, desarmando o disjuntor (FILHO,2011).

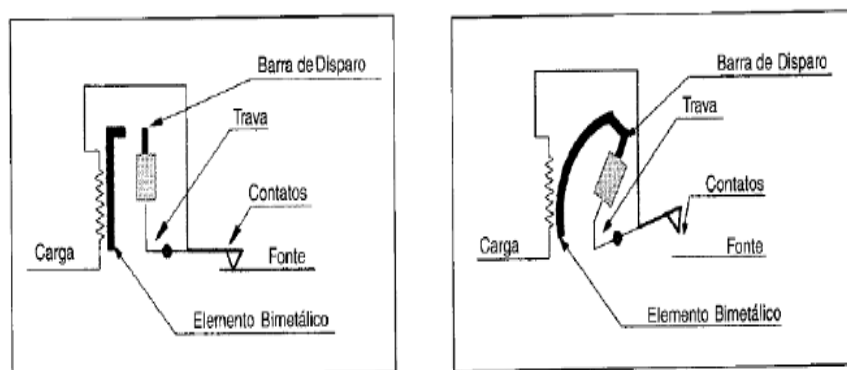


Figura 1.14 – Função térmica de um disjuntor (FILHO,2011)

Já as correntes de curto-circuito, que podem aparecer devido à faltas na linha de transmissão, são correntes de grandeza demasiadamente elevadas, porém atuam em um tempo muito reduzido (FILHO,2011). O setor do disjuntor responsável por detectar e eliminar a corrente de sobrecarga é o magnético. A operação magnética do disjuntor consiste em uma bobina, quando uma corrente elevada passa pela bobina, produz-se um campo magnético dinâmico que por sua vez induz corrente em um êmbolo, gerando torque no mesmo, o êmbolo ferromagnético puxa a trava e desarma o disjuntor (POMILIO;MARAFÃO,2004).

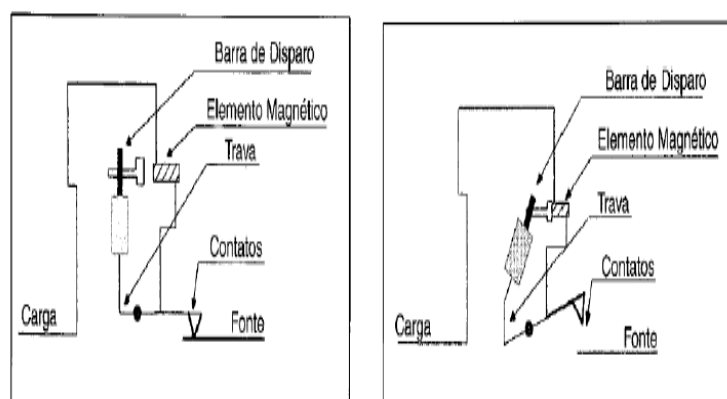


Figura 1.15 – Função magnética do disjuntor (FILHO,2011)

2 *Materiais e Métodos*

2.1 *Torres*

As torres constituem uma parte fundamental na construção da linha de transmissão Linhares – São Mateus 230 kV, pois é através delas que os cabos condutores e o cabo para-raio são içados e ancorados. Têm-se dois tipos de torres, torre estaiada e a torre autoportante.

2.1.1 *Torre estaiada*

A torre do tipo estaiada, também chamada de *LMEL*, é uma torre em coluna única que proporciona elevada capacidade de carga e atingir alturas elevadas. Logo quando os cabos condutores são projetados para ancorar em locais de altura mais elevada, a torre estaiada é a mais indicada.

Este tipo de torre possui uma silhueta com área concentrada e altura considerável, sua construção é feita primeiramente pela perfuração, montagem das ferragens e concretagem de uma cava central, chamada de *MC*, a torre é fundada no *MC* e sua sustentação é feita a partir de quatro estais (cabos de aço fundados no solo e ancorados no topo da torre).

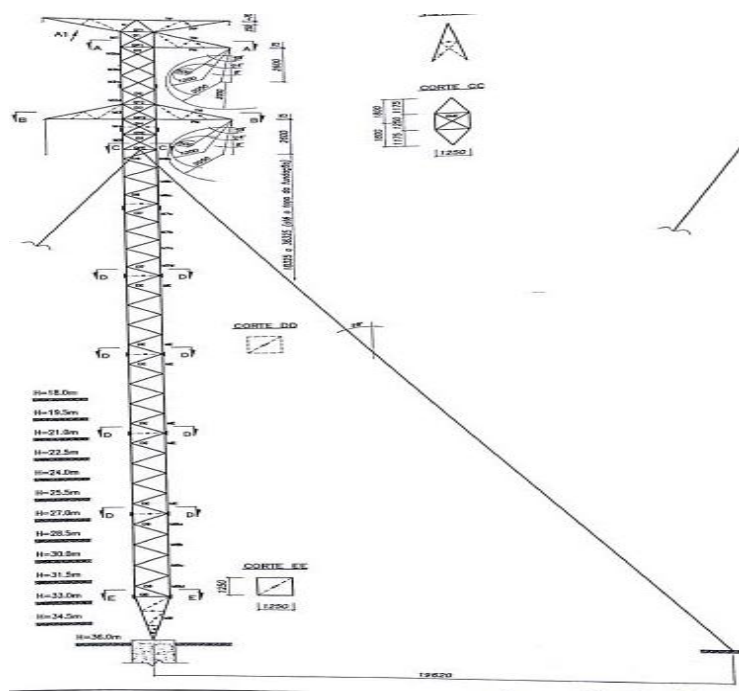


Figura 2.1 – Projeto torre *LMEL* (ENGELMIG ENERGIA,2018)

No projeto da linha Linhares – São Mateus do total de 225 torres 172 torres são do tipo estaiada, elas são muito resistentes e sua construção mais econômica, por este fato são maioria no projeto.

2.1.2 Torre autoportante

A torre autoportante é o tipo de torre indicado para pontos no qual os condutores da linha não precisam estar em altura demasiada, além do mais, a torre estaiada não é projetada para terrenos em desnível, logo para estes tipos de terrenos as torres autoportantes são a solução.

O processo construtivo da torre autoportante envolve a escavação, armação da estrutura de aço e concretagem de quatro cavas, no qual localizaram as quatro bases da torre. Em cada cava é ancorado no concreto uma haste de aço chamada de stub, ela é alinhada topograficamente e servirá como base e ponto de início da montagem da torre. Na linha de transmissão Linhares – São Mateus utilizou-se quatro tipos de torre autoportante, nomeadas de *LMSP*, *LMSE*, *LMAA* e *LMAT*.

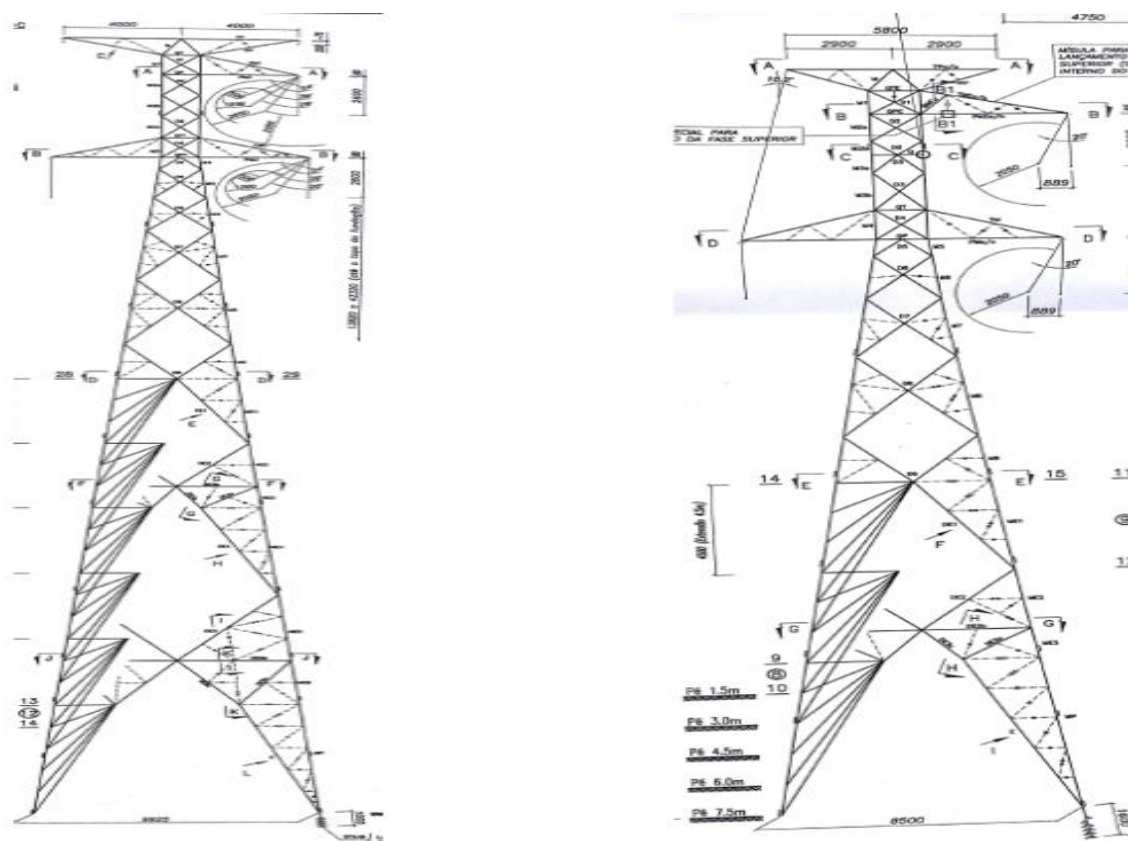


Figura 2.2 – Torre LMSP (Esquerda) e Torre LMAT (Direita) (ENGELMIG ENERGIA,2018)

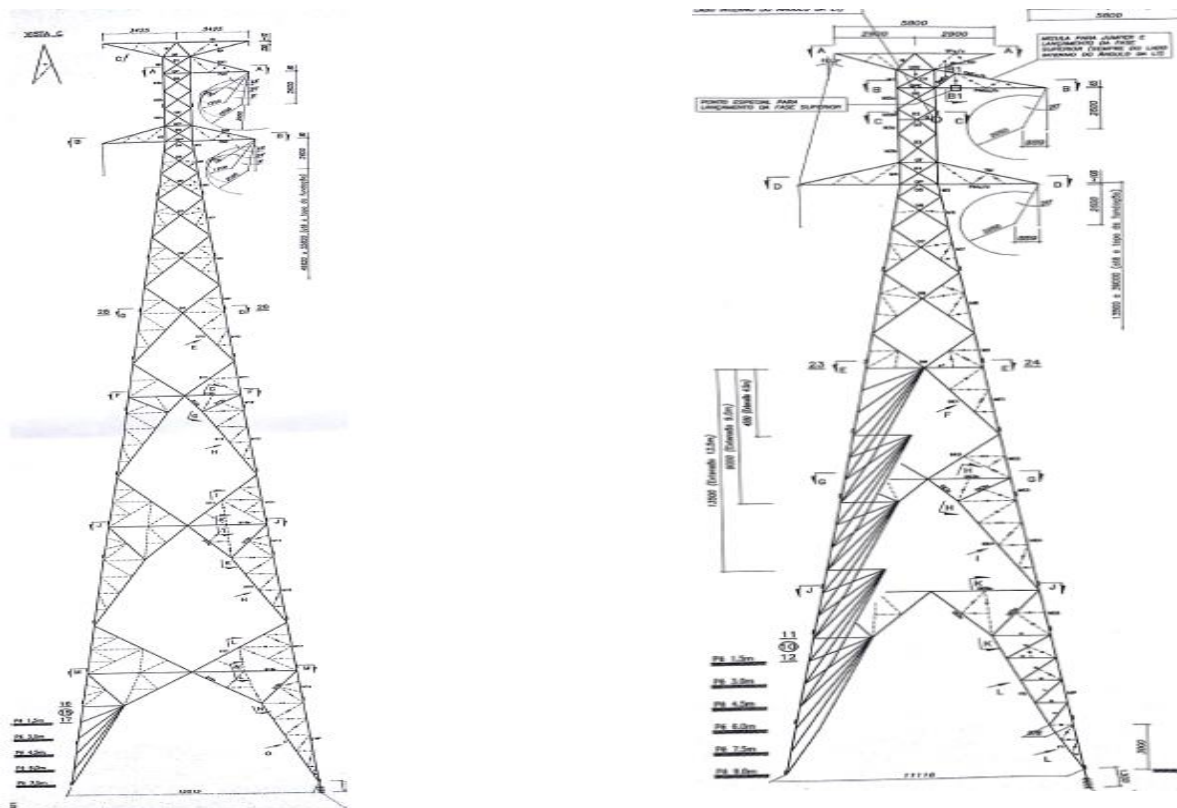


Figura 2.3 – Torre LMSE (Esquerda) e Torre LMAA (Direita) (ENGELMIG ENERGIA,2018)

As figuras 2.2 e 2.3 evidenciam os quatro tipos de torres utilizadas na linha de transmissão Linhares – São Mateus. Uma peculiaridade dessas torres em relação a outros projetos de linhas consiste no fato de que uma fase posiciona-se na parte superior da torre, enquanto as outras duas posicionam-se na parte inferior. As torres tipo *LMSP* e *LMSE* distinguem-se das torres *LMAA* e *LMAT* na extensão da estrutura de sustentação dos cabos para-raio, nomeada de mísula. Nas torres *LMSP* e *LMSE* a mísula de sustentação do para-raio possui extensão idêntica à mísula de sustentação dos cabos condutores. Já nas torres *LMAT* e *LMAA* a mísula de sustentação dos para-raios possui extensão inferior às mísulas de sustentação dos condutores. Os quatro tipos de torres possuem suas individualidades em relação ao formato da estrutura. A tabela 2.1 evidencia dimensões de algumas grendezas.

Tabela 2.1 – Dimensionamentos estruturais torres autoportantes

TORRE	LMSE	LMSP	LMAA	LMAT
Extensão da mísula para-raio (m)	3,43	4,40	2,90	2,90
Extensão da mísula condutor (m)	3,43	4,40	5,45	5,45
Altura (m)	66,40	52,90	47,30	36,80
Largura da base (m)	12,51	9,93	11,12	8,50
Distância entre as fases (m)	6,85	8,80	10,90	10,90

2.2 Cabos condutores

Os cabos condutores são responsáveis pela condução da corrente elétrica. A empresa responsável pelo fornecimento dos cabos condutores para linha de transmissão Linhares – São Mateus 230 kV é a Alubar Metais e Cabos S/A, localizada na cidade de Barcarena no Pará. As características dos condutores serão vistas a seguir.

2.2.1 Características principais do cabo condutor utilizado

A linha de transmissão Linhares – São Mateus, como visto, possui uma tensão de 230 kV. O cabo condutor utilizado na obra, da Alubar Metais e Cabos S/A, é o cabo *CAL 806,50 MCM 1120*. O catálogo deste condutor pode ser visto na figura 2.4. A linha é composta por um fio por fase (fase simples), totalizando três condutores. A bitola do cabo condutor é de 26,25 milímetros, ele possui uma massa de 1115,46 kilogramas por quilômetro de cabo. A resistência mecânica calculada (RMC), que mede a resistência que o cabo condutor possui a uma determinada força de tração é de 93,17 kN. Passando para as características elétricas do cabo condutor ele possui uma resistência elétrica de 0,0731 Ω /Km e suporta uma corrente nominal de 979 A (rms). Por fim, as grandezas térmicas do cabo condutor, o cabo é desenvolvido para uma temperatura ambiente média de 25 °C, e a sua capacidade de corrente foi medida a uma temperatura de 75 °C (ALUBAR METAIS E CABOS S/A,2018).



Figura 2.4 – Empresa fornecedora dos cabos condutores (ALUBAR METAIS E CABOS S/A,2018)

CAL 1120 - Condutores de Alumínio Liga
 AAAC 1120 - All-Aluminum Alloy Conductors

Cabo	AWG / MCM	Área	Formação, Número e Diâmetro dos Fios	Diâmetro Nominal do Cabo	Massa Linear	RMC	Resistência Elétrica CC a 20°C	Capacidade de Corrente 75°C
		mm ²	Nº x mm	mm	Kg/Km	kN	Ω/km	A
Chlorine	67,81	34,36	7 x 2,50	7,50	94,63	8,16	0,8698	207
Chromium	82,05	41,58	7 x 2,75	8,25	114,50	9,87	0,7188	234
Fluorine	97,65	49,48	7 x 3,00	9,00	136,27	11,75	0,6040	261
Helium	152,58	77,31	7 x 3,75	11,25	212,92	17,63	0,3866	345
Hydrogen	219,72	111,33	7 x 4,50	13,50	306,60	24,33	0,2684	433
Iodine	244,81	124,04	7 x 4,75	14,25	341,62	27,10	0,2409	464
Krypton	311,07	157,62	19 x 3,25	16,25	434,08	37,43	0,1896	540
Lutetium	360,77	182,80	19 x 3,50	17,50	503,44	41,68	0,1635	593
Neon	414,15	209,85	19 x 3,75	18,75	577,92	47,85	0,1424	646
Nitrogen	516,16	261,54	37 x 3,00	21,00	720,27	62,12	0,1143	742
Nobelium	605,77	306,94	37 x 3,25	22,75	845,32	72,90	0,0974	820
Oxygen	664,48	336,69	19 x 4,75	23,75	927,25	73,57	0,0888	868
Phosphorus	806,50	408,65	37 x 3,75	26,25	1125,43	93,17	0,0731	979
Selenium	998,70	506,04	61 x 3,25	29,25	1393,64	113,86	0,0591	1116
Silicon	1158,26	586,89	61 x 3,50	31,50	1616,29	126,77	0,0509	1221
Sulfur	1329,63	673,72	61 x 3,75	33,75	1855,44	145,52	0,0444	1328

Figura 2.5 – Catálogo cabo condutor CAL 1120 (ALUBAR METAIS E CABOS S/A,2018)



Figura 2.6 – Cabo condutor 806,50 MCM CAL 1120 (ENGELMIG ENERGIA,2018)



Figura 2.7 – Cabo condutor 806,50 MCM CAL 1120 (ENGELMIG ENERGIA,2018)

2.3 Cabos para-raios

O princípio de operação de um cabo para-raio consiste na redução das sobretensões transitórias resultantes de descargas atmosféricas. Dependendo da descarga atmosférica, a sobretensão transitória pode possuir valor elevado, levando a danos nas cadeias de isoladores da linha de transmissão (FILHO,2011).

Ao ocorrer uma descarga atmosférica, aparecerá uma sobretensão transitória que gera um surto de corrente acima do nominal, que pode danificar os cabos das fases, as cadeias de isoladores e os equipamentos das subestações de distribuição ligadas à linha de transmissão. Para isso o cabo para-raio é projetado, pois parte da corrente de surto gerada pela descarga atmosférica flui pelo para-raio sendo dissipada pelo sistema de malha de aterramento.

2.3.1 Cabo para-raio Aço galvanizado 3/8” EHS

Na linha Linhares – São Mateus o para-raio utilizado é o cabo 3/8” *EHS Aço Galvanizado*, cujo catálogo é visto na figura 2.8. A empresa fornecedora do cabo para-raio é a Cordeiro Cabos Elétricos S/A.

Cordoalha 7 fios					
Diâmetro		Carga de Ruptura Mínima (tf) Resistência dos Arames			Massa Aproximada
mm	pol	S.M	H.S	E.H.S	Kg/m
3/16"	4,76	0,863	1,29	1,81	0,108
1/4"	6,35	1,43	2,16	3,02	0,180
5/16"	7,94	2,43	3,63	5,10	0,305
3/8"	9,53	3,16	4,91	7,00	0,406
7/16"	11,11	4,25	6,59	9,45	0,593
1/2"	12,70	5,50	8,55	12,23	0,769
5/8"	15,88	8,66	13,42	19,23	1,209

Figura 2.8 – Catálogo cabo para-raio 3/8'' EHS (CORDEIRO S/A,2018)



Figura 2.9 – Bobinas cabo para-raios 3/8'' (ENGELMIG ENERGIA,2018)

2.3.2 Cabo para-raio Dotterel

O cabo para-raio Dotterel foi utilizado na linha de transmissão Linhares – São Mateus, em substituição ao cabo 3/8'', no início (25 primeiras torres, 10 primeiros quilômetros) e no fim (25 últimas torres, 10 últimos quilômetros) da linha. Essa substituição foi feita pois o para-raio Dotterel possui uma bitola maior que a do para-raio 3/8'', e com isso possui capacidade de fluxo de corrente de surto mais elevada, protegendo mais o sistema, então, em locais críticos, como as proximidades das subestações, adotou-se este cabo. A bitola do 3/8'' é de 9,53 milímetros, já a bitola do Dotterel é de 18,31 milímetros.

Para linha Linhares – São Mateus, a empresa Engelmig Energia adquiriu as bobinas de cabo Dotterel da empresa Alubar Metais e Cabos S/A.

CAA - Condutores de Alumínio com Alma de Aço - De acordo com as Normas NBR7270 / ASTM B232M

ACSR - Aluminum Conductors, Steel Reinforced - According to NBR7270 / ASTM B232M Standards

Cabo	AWG/ MCM	Área			Formação, Número e Diâmetro dos Fios		Diâmetro Nominal do Cabo	Massa			% Alumínio	% Aço	RMC		Resistência Elétrica CC a 20°C	Capacidade de Corrente 75°C
		AL	Aço	Total		Aço		AL	Aço	Total			Classe 1	Classe 2		
		mm ²	mm ²	mm ²	Nº x mm	Nº x mm		kg/km	kg/km	kg/km			kN	kN		
Turkey	6	13,30	2,22	15,52	6 x 1,68	1 x 1,68	5,04	36,64	17,10	53,74	68,18%	31,82%	5,30	5,15	2,1498	119
Thrush	5	16,83	2,81	19,64	6 x 1,89	1 x 1,89	5,67	46,37	21,64	68,01	68,18%	31,82%	6,65	6,46	1,6986	138
Swan	4	21,18	3,53	24,71	6 x 2,12	1 x 2,12	6,36	58,34	27,23	85,57	68,18%	31,82%	8,30	8,07	1,3500	159
Swallow	3	26,69	4,45	31,14	6 x 2,38	1 x 2,38	7,14	73,53	34,32	107,84	68,18%	31,82%	10,23	9,93	1,0712	184
Sparrow	2	33,59	5,60	39,19	6 x 2,67	1 x 2,67	8,01	92,53	43,19	135,73	68,18%	31,82%	12,65	12,28	0,8511	212
Robin	1	42,41	7,07	49,48	6 x 3,00	1 x 3,00	9,00	116,82	54,53	171,35	68,18%	31,82%	15,85	15,38	0,6742	246
Raven	1/0	53,52	8,92	62,44	6 x 3,37	1 x 3,37	10,11	147,42	68,81	216,22	68,18%	31,82%	19,45	18,86	0,5343	284
Quail	2/0	67,33	11,22	78,55	6 x 3,78	1 x 3,78	11,34	185,47	86,57	272,04	68,18%	31,82%	23,53	22,77	0,4246	328
Pigeon	3/0	85,12	14,19	99,30	6 x 4,25	1 x 4,25	12,75	234,46	109,44	343,89	68,18%	31,82%	29,42	28,46	0,3359	380
Penguin	4/0	107,22	17,87	125,09	6 x 4,77	1 x 4,77	14,31	285,34	137,86	423,19	68,18%	31,82%	37,06	35,85	0,2667	440
Warwing	266,8	134,98	7,50	142,48	18 x 3,09	1 x 3,09	15,45	372,71	57,78	430,50	86,58%	13,42%	31,22	30,71	0,2129	502
Partridge	266,8	134,87	21,99	156,87	26 x 2,57	7 x 2,00	16,28	374,00	171,46	545,46	68,57%	31,43%	50,11	48,63	0,2141	507
Ostrich	300,0	152,19	24,71	176,90	26 x 2,73	7 x 2,12	17,28	422,01	192,65	614,66	68,66%	31,34%	56,41	54,75	0,1897	547
Merlin	336,4	170,22	9,46	179,68	18 x 3,47	1 x 3,47	17,35	470,02	72,87	542,89	86,58%	13,42%	39,36	38,73	0,1688	580
Linnet	336,4	170,55	27,83	198,39	26 x 2,89	7 x 2,25	18,31	472,99	217,00	689,99	68,55%	31,45%	62,92	61,05	0,1693	587
Oriole	336,4	170,50	39,78	210,28	30 x 2,69	7 x 2,69	18,83	473,59	310,68	784,27	60,39%	39,61%	77,27	74,59	0,1698	591

Figura 2.10 – Catálogo Doterrel 336,4 MCM CAA (ALUBAR METAIS E CABOS S/A,2018)

O cabo para-raio Doterrel utilizado na obra, cujo catálogo, visto na figura 2.10, é o *Doterrel CAA 336,4 MCM* (ALUBAR METAIS E CABOS S/A,2018). Este cabo possui revestimento em alumínio com alma de aço. Em sua composição possui uma porcentagem de 68,55 % de alumínio e 31,45% de aço. Também possui, como características elétricas, uma resistência de 0,1693 Ω/Km e capacidade de corrente de 587 A.



Figura 2.11 – Bobinas cabo para-raios Doterrel (ENGELMIG ENERGIA,2018)

2.3.3 Cabo para-raio OPGW

O cabo para-raio OPGW (*Optical Ground Wire*) é instalado em paralelo ao cabo para-raio 3/8", na mísula superior oposta. O fibra OPGW possui dupla função, a primeira é servir como para-raios, protegendo a linha de transmissão contra descargas atmosféricas, e a segunda, como fibra óptica, executar o transporte de dados (internet e tv).

A fibra OPGW utilizada na linha Linhares – São Mateus foi adquirida da empresa Furukawa Electric S/A. O modelo da fibra utilizada na linha é designado *OPGW DGI.030.133.S24 DUAL 24F*. O catálogo da fibra OPGW é visto na figura 2.12 (FURUKAWA LATAM S/A,2018).

Tipo de Cabo	Seção (mm ²)	Quantidade Máxima de Fibras Ópticas (unidade)	Diâmetro Externo (mm)	Peso Aproximado (kg/km)	Capacidade Corrente de Curto I ² t (kA ² s)
CENTRUM	52	48	10,2	445	5,7
DUAL	71	48	11,4	458	24
DUAL	83	48	12,2	593	16
DUAL	87	36	12,4	490	49
DUAL	101	48	13,3	682	30
DUAL	112	48	14,1	692	50
DUAL	115	48	14,1	608	97
CENTRUM	122	24	14,7	715	81
DUAL	125	48	14,6	720	84
LUX	136	72	15,9	946	88
DUAL	141	48	15,5	812	120
CENTRUM	159	36	16,75	768	190
LUX	199	48	18,75	823	300

Figura 2.12 – Catálogo cabo condutor DUAL 24F (FURUKAWA LATAM S/A,2018)



Figura 2.13 – Bobinas fibra OPGW (ENGELMIG ENERGIA,2018)

2.4 **Isoladores**

As cadeias de isoladores, como o próprio nome diz, tem por objetivo isolar todas as estruturas que não podem possuir fluxo de corrente elétrica, como as torres de transmissão (CAMPOS,2009). Como as mesmas estão diretamente ligadas aos condutores se não houvessem isoladores para impedir o fluxo de corrente para as torres, mesmo torres de transmissão que geralmente encontram-se em locais isolados tornariam-se fonte de acidentes envolvendo descargas elétricas (FILHO,2011). Diferentemente da maioria das linhas de transmissão, que utilizam cadeias de isoladores de vidro e cerâmica, a linha Linhares – São Mateus utiliza cadeias de isoladores compensados. Isoladores compensados são construídos de borracha de silicone, ou seja, são isoladores poliméricos. A utilização destes isoladores traz diversas vantagens, destacando-se a resistência à tempetura, flexibilidade e leveza. A empresa fornecedora de isoladores poliméricos para linha Linhares – São Mateus é a Grantel Equipamentos Ltda.

O catálogo do isolador evidencia algumas informações importantes, como a carga suportada pelo isolador e o impulso atmosférico, que mede a tensão suportada pelo isolador no caso de um surto de tensão provido de uma descarga atmosférica afete o mesmo (GRANTEL EQUIPAMENTOS S/A,2018).



Figura 2.14 – Isoladores compensados 230 kV (ENGELMIG ENERGIA,2018)

ISOLADORES COMPOSTOS DE SUSPENSÃO EM CORRENTE ALTERNADA
AISLADORES COMPUESTOS DE SUSPENSIÓN EN CORRIENTE ALTERNADA

Modelo Modelo	Características Físicas Características físicas				Valores Elétricos Suportáveis (kV) Valores eléctricos soportables			Peso (kg) Peso (kg)
	Comprimento - H Longitud - H (mm)	Distância de Escoamento Distancia de fuga (mm)	Distância de arco a seco Distancia de arco a seco (mm)	Carga Mecânica especificada Carga mecanica especificada (kN)	Impulso atmosférico Impulso atmosferico (1,2/50 µs)	Frequência industrial a seco Frecuencia industrial en seco	Frequência industrial sob chuva Frecuencia industrial bajo lluvia	
FXBW230-120-04600-2270-Y019-B16A-A	2270	4600	1990	120	1050	460	395	9,30
FXBW230-120-06534-2336-C16A-B16A-A	2336	6534	2102	120	1050	550	470	10,30
FXBW230-120-06500-2135-C16A-B16A-A	2351	6500	2135	120	1320	780	710	9,82
FXBW230-120-06535-2300-C16A-B16A-A	2300	6535	2030	120	1050	460	395	11,50
FXBW230-120-07280-2270-Y019-B16A-A	2270	7280	1990	120	1050	566	510	9,60
FXBW230-120-07410-2600-C16A-B16A-A	2600	7410	2590	120	1050	710	605	11,10

Figura 2.15 – Catálogo isolador (GRANTEL EQUIPAMENTOS S/A,2018)

2.5 Parâmetros fundamentais da linha

Como citado na introdução deste trabalho, são quatro os parâmetros fundamentais da linha (resistência série, indutância série, condutância em paralelo e capacitância em paralelo). A fim de determinar os parâmetros fundamentais da linha de transmissão estudada primeiramente obteve-se a resistência série do cabo através de seu catálogo, visto na figura 2.5, com valor de $0,0731 \Omega/\text{km}$, neste ponto nota-se uma individualidade da linha de transmissão estudada. A maioria das linhas de transmissão possuem um projeto unificado para todas as torres, porém, como já observado, a linha Linhares – São Mateus possui cinco tipos de torres (LMSP/LMSE/LMAA/LMAT/LMEL). Logo para encontrar os demais parâmetros, que necessitam da distância entre os condutores, como visto adiante, os cálculos foram executados para cada torre individualmente, somente para o par LMAA/LMAT um cálculo único foi feito, pois a distância entre os condutores neste par é a mesma. Os cálculos abaixo foram executados embasados em (SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA,2010).

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{23}} \quad (1)$$

$$r_{mg} = 0,7788 \cdot r_e \quad (2)$$

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}{\text{Ln} \left(\frac{D_{eq}}{r_e} \right)} \quad (3)$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \cdot \text{Ln} \left(\frac{D_{eq}}{r_{mg}} \right) \quad (4)$$

No qual:

- D_{eq} = Espaçamento equilateral entre os condutores.
- D_{12} = Distância entre os condutores 1 e 2.
- D_{13} = Distância entre os condutores 1 e 3.
- D_{23} = Distância entre os condutores 2 e 3.
- r_{mg} = Raio médio geométrico (média geométrica dos raios dos fios que compõem o condutor).
- r_e = Raio externo total do condutor.
- ϵ_0 = Constante de permissividade no vácuo ($8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$)
- C = Capacitância paralela.
- L = Indutância série.

2.5.1 – Torres LMAA/LMAT

Tabela 2.2 – Distâncias torres LMAA/LMAT

D_{12}	9,50 m
D_{13}	6,10 m
D_{23}	11,30 m
r_e	0,0131 m

$$D_{eq} = \sqrt[3]{9,50 \cdot 6,10 \cdot 11,30} = 8,6838 \text{ m} \quad (5)$$

$$r_{mg} = 0,7788 \cdot 0,0131 = 0,05123 \text{ m} \quad (6)$$

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,85 \times 10^{-12}}{\ln\left(\frac{8,6838}{0,05123}\right)} = 10,83 \times 10^{-9} \text{ F/km} \quad (7)$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{D_{eq}}{r_{mg}}\right) = 2 \times 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{8,6838}{0,05123}\right) = 1,03 \times 10^{-3} \text{ H/km} \quad (8)$$

2.5.2 – Torre LMSP

Tabela 2.3 – Distância torres LMSP

D_{12}	8,80 m
D_{13}	5,50 m
D_{23}	10,40 m
r_e	0,0131 m

$$D_{eq} = \sqrt[3]{8,80 \cdot 5,50 \cdot 10,40} = 7,9547 \text{ m} \quad (9)$$

$$r_{mg} = 0,7788 \cdot 0,0131 = 0,05123 \text{ m} \quad (10)$$

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,85 \times 10^{-12}}{\ln\left(\frac{7,9547}{0,05123}\right)} = 11,02 \times 10^{-9} \text{ F/km} \quad (11)$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{D_{eq}}{r_{mg}}\right) = 2 \times 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{7,9547}{0,05123}\right) = 1,0090 \times 10^{-3} \text{ H/km} \quad (12)$$

2.5.3 – Torre LMSE

Tabela 2.4 – Distância torres LMSE

D_{12}	7,40 m
D_{13}	5,50 m
D_{23}	9,25 m
r_e	0,0131 m

$$D_{eq} = \sqrt[3]{7,40 \cdot 5,50 \cdot 9,25} = 7,2207 \text{ m} \quad (13)$$

$$r_{mg} = 0,7788 \cdot 0,0131 = 0,05123 \text{ m} \quad (14)$$

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,85 \times 10^{-12}}{\ln\left(\frac{7,2207}{0,05123}\right)} = 11,2372 \times 10^{-9} \text{ F/km} \quad (15)$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{D_{eq}}{r_{mg}}\right) = 2 \times 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{7,2207}{0,05123}\right) = 0,9897 \times 10^{-3} \text{ H/km} \quad (16)$$

2.5.4 – Torre LMEL

Tabela 2.5 – Distância torres LMEL

D_{12}	6,85 m
D_{13}	5,50 m
D_{23}	8,80 m
r_e	0,0131 m

$$D_{eq} = \sqrt[3]{6,85 \cdot 5,50 \cdot 8,80} = 6,9212 \text{ m} \quad (17)$$

$$r_{mg} = 0,7788 \cdot 0,0131 = 0,05123 \text{ m} \quad (18)$$

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,85 \times 10^{-12}}{\ln\left(\frac{6,9212}{0,05123}\right)} = 11,3343 \times 10^{-9} \text{ F/km} \quad (19)$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{D_{eq}}{r_{mg}}\right) = 2 \times 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{6,9212}{0,05123}\right) = 0,9547 \times 10^{-3} \text{ H/km} \quad (20)$$

2.6 Simulação

A fim de simular a energização e análise de faltas da linha de transmissão em estudo utilizou-se o ambiente *Simulink*, desenvolvido pela empresa *Matworks*. Como visto anteriormente há diferença entre os parâmetros fundamentais para as diferentes cabeças de torres, logo, para simular a linha por completo utilizou-se quatro blocos, cujas características podem ser vistas na figura 2.16, de linha de transmissão, em que suas distâncias somadas resultam nos 102,8 quilômetros de linha.

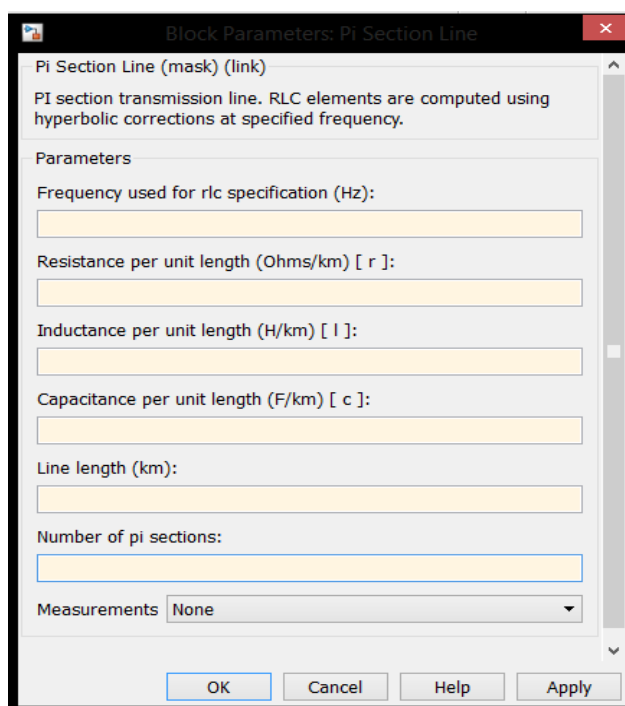


Figura 2.16 – Bloco simulador da linha de transmissão

O preenchimento dos parâmetros do bloco de simulação exibido na figura 2.16, consistem em:

- Frequência = 60 Hz.
- Resistência série, capacitância paralelo e indutância série = valores inseridos de acordo com a torre, como vistos nas equações (5) a (20).
- Comprimento da linha = LMAT/LMAA (7 Km) – LMSP (16 Km) – LMSE (1,8 Km) – LMEL (78 Km).
- Número de cabos por fase = Um cabo por fase (fase simples).

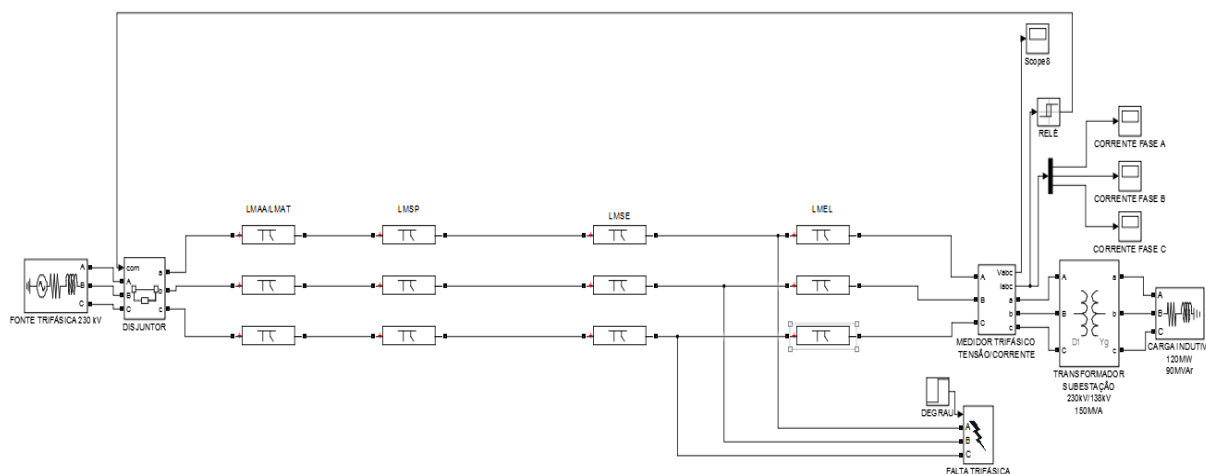


Figura 2.17 – Simulação em ambiente *Simulink* linha de transmissão Linhares-ES – São Mateus-ES

A figura 2.17 evidencia a montagem da simulação no *Simulink* da linha de transmissão em estudo neste trabalho. Primeiramente para energizá-la utilizou-se um bloco de fonte trifásica, fazendo a geração com tensão de linha de 230 kV eficaz. A linha de transmissão foi simulada pelo quatro blocos *Pi Section Line*, um bloco para cada topologia de torre (LMAA/LMAT, LMSE, LMSP e LMEL). O sistema de proteção é composto por um par disjuntor/relé. O relé possui a função de detectar sobrecorrentes causadas por faltas e enviar um sinal a fim de estimular a comutação do disjuntor. O bloco utilizado para representar o disjuntor é o *Three-Phase Breaker*, neste bloco é necessário informar a resistência R_{on} (resistência do disjuntor quando o mesmo encontra-se fechado), considerou-se um valor de $0,001 \Omega$ para tal resistência. Além de R_{on} é necessário definir R_s (resistência paralela à chave que permite fluxo de corrente mesmo com o disjuntor desarmado). Para que este fluxo seja infinitesimal utilizou-se um valor considerável de R_s (5 M Ω). O último pré-requisito à definir no bloco do disjuntor é o acionamento do mesmo, duas maneiras são permitidas, uma interna, na qual define-se um intervalo de tempo no qual o disjuntor irá chavear, e uma externa, no qual um bloco envia um sinal para comutar o disjuntor. Como o objetivo desta simulação é comutar o disjuntor somente quando houver aparecimento de correntes de surto, e não comutá-lo em um tempo pré estipulado, por isso o uso do relé, utilizou-se na simulação o acionamento externo do disjuntor.

O bloco utilizado para simular o relé de sobrecorrente é o *Relay*. A corrente máxima que flui por fase na linha, como será observado a seguir nos resultados, é de 1067,7 A de pico. Logo o disjuntor será dimensionado para esta corrente. O bloco *Relay* alterna o sinal de saída entre dois valores especificados dependendo do valor do sinal de entrada do relé. Logo na

entrada do relé especificou-se um valor de 1067,7 A de máximo de corrente. Valores menores ou iguais a 1067,7 A de pico de corrente de fase na entrada do relé proporcionam uma saída com valor fixo de 1, e valores estritamente superiores a 1067,7 A de pico de corrente de fase proporcionam saída fixa em 0. Estes valores fixos de saída do relé são enviados ao disjuntor, coordenando sua comutação, o valor 0 abre o disjuntor e o valor 1 fecha-o. Logo, em resumo, o sistema de proteção detecta as correntes que fluem nas três fases da linha, caso este valor seja igual ou inferior a 1067,7 A de pico (corrente fluida em cada fase) o disjuntor mantém fechado e a linha energizada, caso contrário o disjuntor efetua a abertura e consequente desenergização da linha de transmissão.

No fim da linha simulada existe um transformador, este transformador possui objetivo de simular a subestação abaixadora (230 kV-138 kV) da concessionária EDP, localizada na cidade de São Mateus, e alimentada pela linha de transmissão 230 kV Linhares – São Mateus. O transformador da simulação possui as seguintes especificações:

- Tensão primária = 230 kV (tensão de linha rms).
- Tensão secundária = 138 kV (tensão de linha rms).
- Frequência nominal = 60 Hz.
- Potência nominal = 345 MVA.

Na extremidade direita da figura 2.17 simulou-se a carga que consome potência sendo alimentada pela linha de transmissão em estudo. A carga da simulação é predominantemente indutiva e consome uma potência aparente de 345 MVA. Para representar a carga consumidora foi utilizado o bloco *Three-Phase Parallel RL Load*.

Por fim utilizou-se o bloco *Three-Phase Fault* para simular as faltas assimétricas e simétricas na linha de transmissão em estudo. Tal bloco possui alguns parâmetros a serem definidos, porém antes de defini-los é importante notar seu funcionamento interno, visto na figura 2.18.

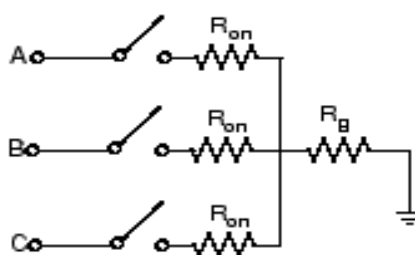


Figura 2.18 – Circuito interno do bloco de falta

Na figura 2.18 é possível visualizar o circuito interno do bloco simulador de faltas, tal circuito consiste basicamente em um disjuntor e uma resistência interna R_{on} (resistência de falta) para cada fase, e uma resistência de terra R_g , que interliga o sistema trifásico a terra.

O princípio de funcionamento da simulação de falta consiste em comutar o disjuntor das fases afetadas pela falta, criando um curto entre as fases em si, ou entre as fases e o terra. Como o curto é a interligação entre as fases, a resistência de falta R_{on} deve ser pequena para aproximar a simulação da realidade. Quando a falta envolve o terra (FT/FFT/FFFT) a resistência de terra R_g deve ser pequena. Quando a falta não envolve o terra (FF/FFF) R_g deve possuir valor alto para que a corrente não flua para terra no circuito 2.18. Os parâmetros utilizados na simulação são descritos abaixo.

1. Faltas envolvendo terra (FT/FFT/FFFT):
 - Resistência de falta $R_{on} = 0,75 \Omega$.
 - Resistência de terra $R_g = 0.01 \Omega$.
2. Faltas sem terra, somente fases (FF/FFF):
 - Resistência de falta $R_{on} = 0,75 \Omega$.
 - Resistência de terra $R_g = 1 \text{ M}\Omega$.

Depois que as resistências R_{on} e R_g estão devidamente ajustadas é necessário definir outras duas informações. O estado inicial (utilizou-se na simulação chaves abertas no início da simulação, logo inicialmente a linha opera sem faltas). A segunda informação consiste em definir o tempo no qual ocorrerá a falta, ele pode ser inserido manualmente no bloco ou também por um ativador externo ligado ao bloco, na simulação da linha em estudo foi utilizado um ativador externo. Este ativador externo é um gerador de sinais em degrau (bloco *Step*) que gerará um sinal 0 de 0 segundos à 0,5 segundos, e um sinal 1 de 0,5 segundos à 1 segundo. Logo o sinal 1 fecha a chave selecionada gerando a falta, no instante 0,5 segundos. O sistema de faltas pode ser visto na figura 2.19.

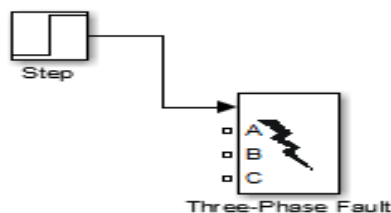


Figura 2.19 – Simulação de sistema de falt

3 Resultados e Discussões

3.1 – Energização da linha:

Inicialmente, antes de realizar as simulações de falta na linha de transmissão Linhares – São Mateus foi simulada a energização da linha.

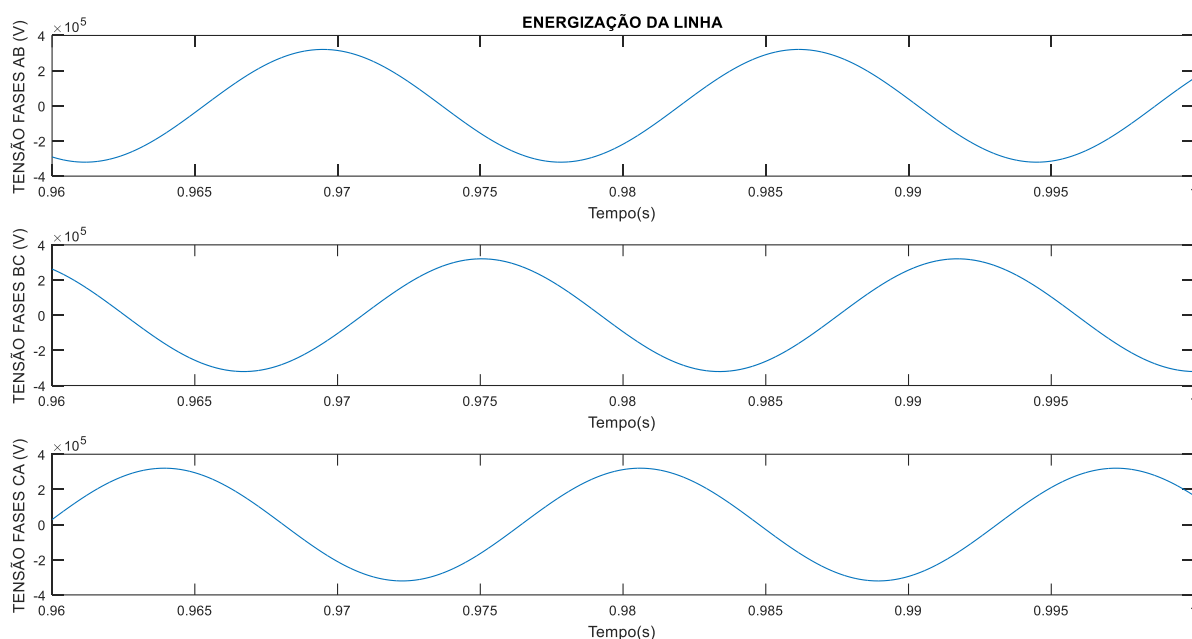


Figura 3.1 – Tensão de linha da linha de transmissão.

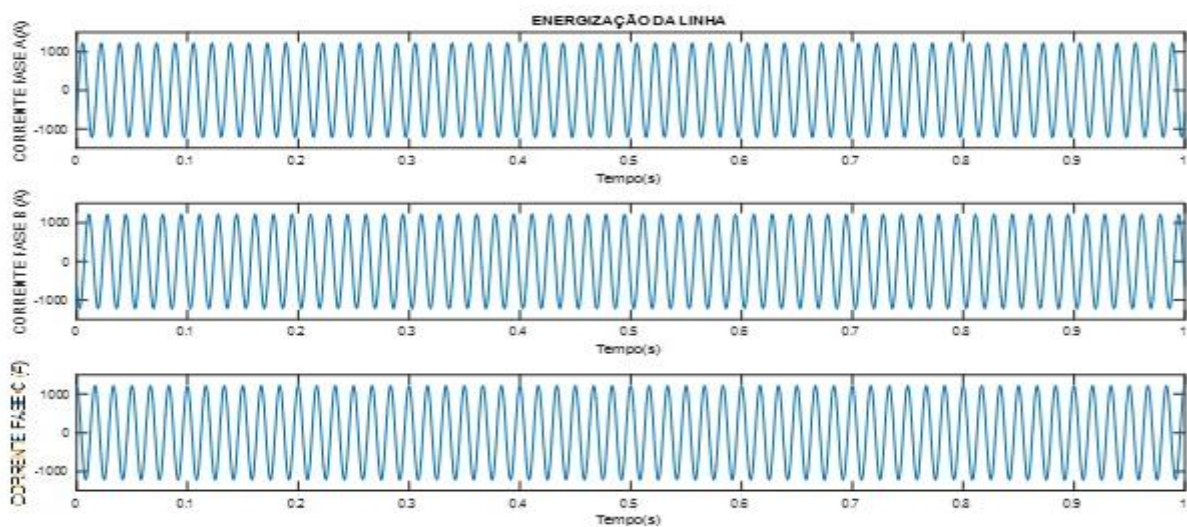


Figura 3.2 – Corrente das fases da linha de transmissão.

Em análise às figuras 3.1 e 3.2 é possível determinar as grandezas elétricas da linha viva (energizada). São eles:

- Tensão da rede (pico) = 325 kV.
- Tensão da rede (rms) = 230 kV.
- Corrente nas fases (pico) = 1067,73 A.
- Corrente nas fases (rms) = 755 A.

A partir da linha energizada realizou-se uma análise de faltas sobre tal. Esta análise será dissertada adiante.

3.2 – Falta fase-terra (FT):

A falta fase-terra é a de maior recorrência em linhas de transmissão, pois, por motivos diversos, uma das três fases pode se romper e vir a solo. Em linhas 230 kV este tipo de falta provém 47% do total de faltas (SAADAT,2010).

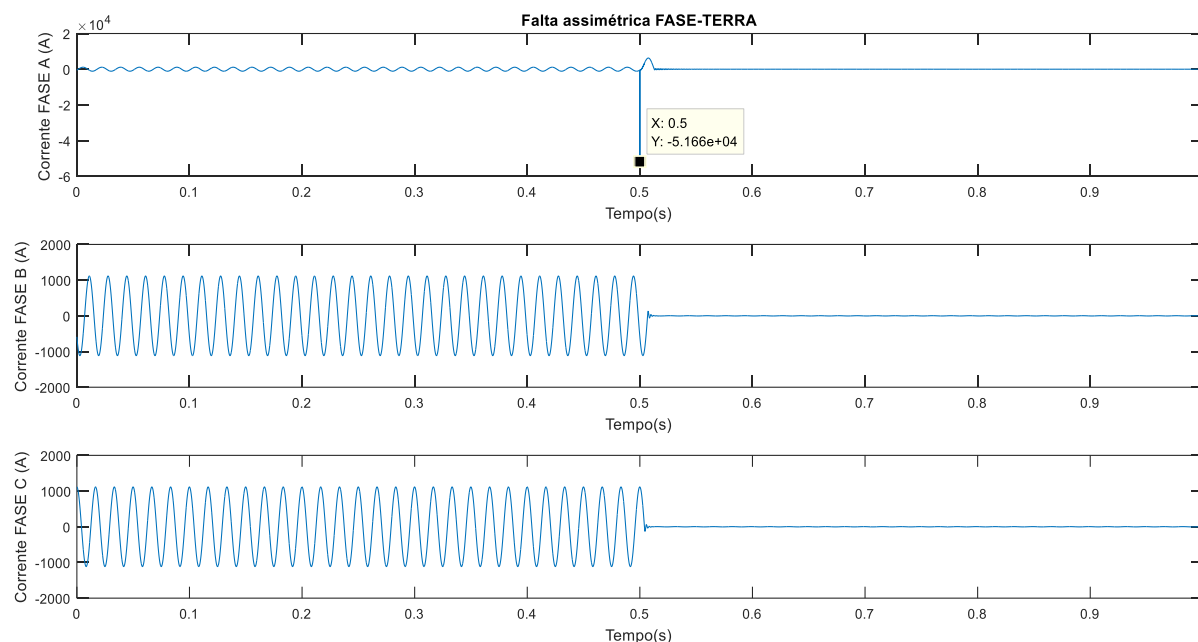


Figura 3.3 – Simulação de falta assimétrica na fase A.

Pela análise da figura 3.3, é importante ressaltar alguns pontos. Primeiramente notar o pico de corrente subtransitória em $t = 0,5s$ (tempo em que o bloco *Step* comuta de 0 para 1, iniciando a falta), este pico de corrente chega a casa de -51,66 kA. Pela figura 3.3 também é possível notar o início da corrente de falta, em regime permanente, cujo pico chega a 6375 A.

Por fim é possível notar a ação do sistema de proteção, no qual o relé detecta a corrente de surto fora do valor permitido, envia um sinal ao disjuntor, que por sua vez, abre a linha, impedindo fluxo de corrente nas três fases.

Além disso, é possível visualizar o tempo de atuação do disjuntor que detecta a corrente em 0,5 segundos e desarma em aproximadamente 0,512 segundos, um tempo de atuação de 0,012 segundos.

3.3 – Falta fase-fase-terra (FFT):

Este tipo de falta, assimétrica, ocorre quando duas fases rompem e entram em contato com o solo. Falta responsável por 5% do total de faltas em linhas 230 kV (SAADAT,2010).

A figura 3.5 evidencia um curto fase-fase-terra, as fases utilizadas para o curto foram as fases B e C. Qualquer par de fases poderia ser utilizado na simulação que o resultado seria análogo.

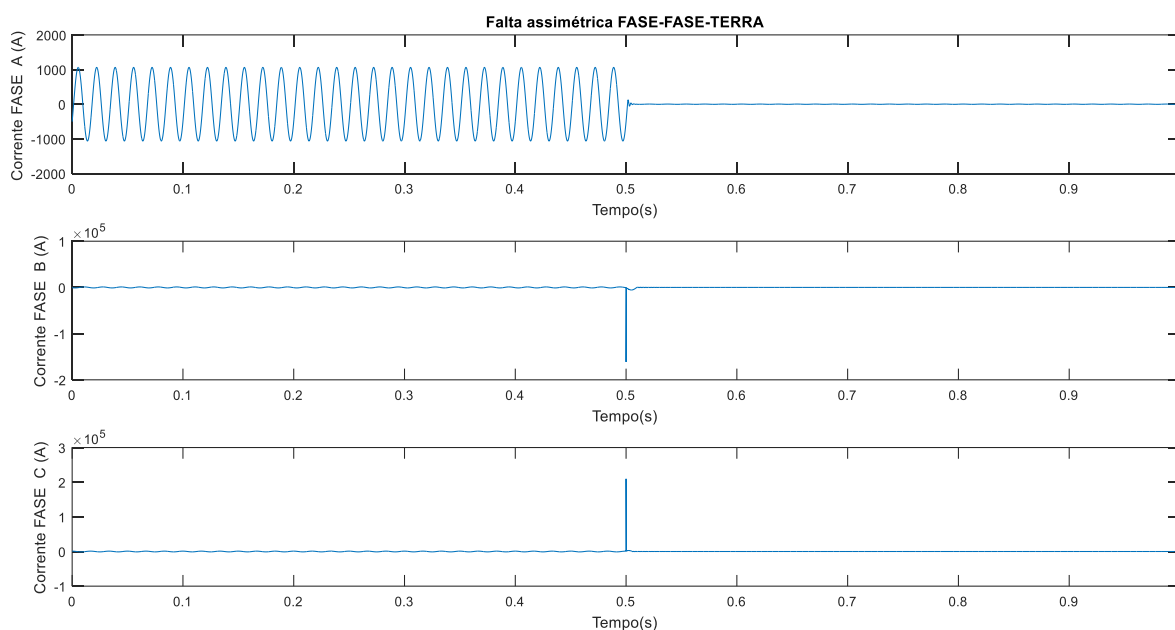


Figura 3.5 – Simulação falta FFT entre as fases A e B

Nesta simulação a corrente de pico subtransitória na fase B vale -160 kA, e na fase C vale 210 kA. Um ponto importante de ressalva consiste na verificação de um pico subtransitório negativo na fase B e um positivo na fase C, tal evento ocorre devido a defasagem entre as ondas, fazendo com que, a falta ocorra na crista da onda (fase C) e no vale da onda (fase B).

3.4 – Falta fase-fase-fase-terra (FFFT):

Das faltas envolvendo o terra, é a única simétrica, ou seja, que atinge todas as fases. Tal falta possui baixa incidência, responsável por apenas 1,4 % do total de faltas em linhas 230 kV (SAADAT,2010).

Neste tipo de falta, como pode ser visto na figura 3.6, ocorre aparecimento de picos de corrente subtransitória nas três fases antes da ação do sistema de proteção. Os valores de pico de corrente subtransitória nas três fases são:

- Fase A = -18 kA.
- Fase B = 201,4 kA.
- Fase C = -188,9 kA.

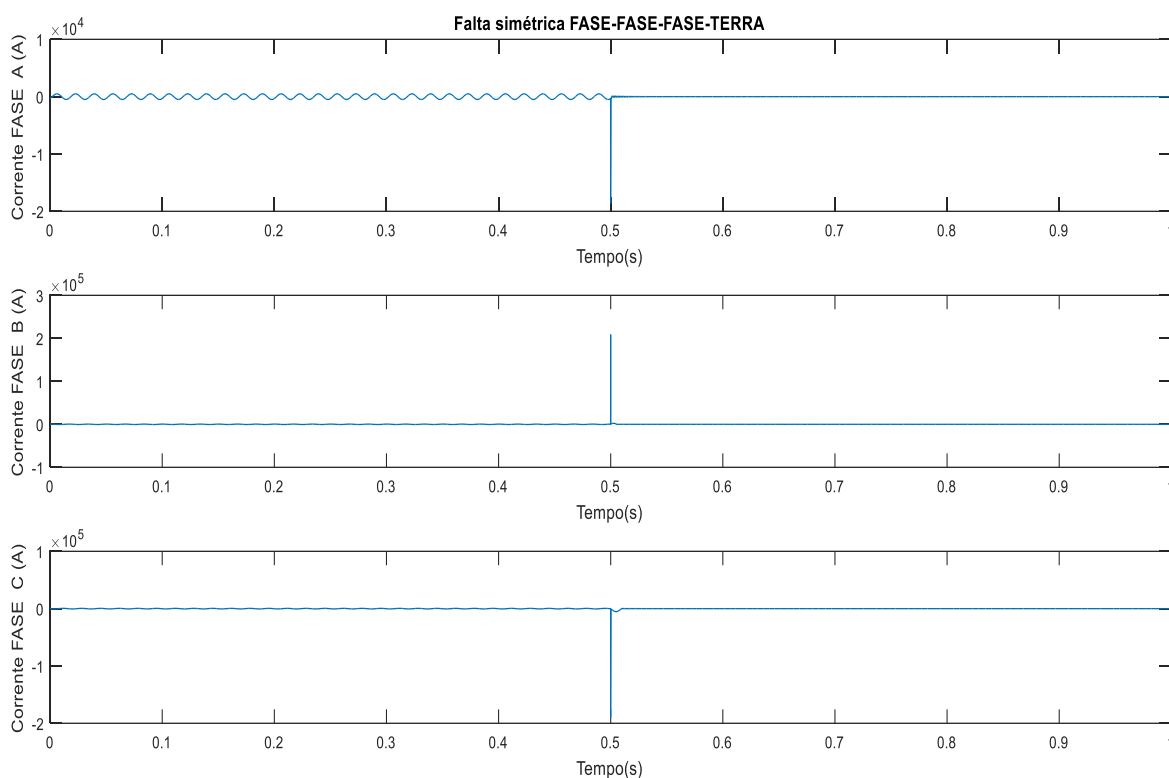


Figura 3.6 – Simulação falta simétrica FFFFT

3.5 – Falta fase-fase (FF):

A falta fase-fase, no qual há um curto em um par de fases, sem envolver o terra. Tal falta é responsável por 8,0 % do total de faltas em linhas 230 kV (SAADAT,2010). A fonte dessa falta provém, no geral, a ventos fortes, causadores de balanços entre as fases, o que pode culminar no contato direto entre as mesmas.

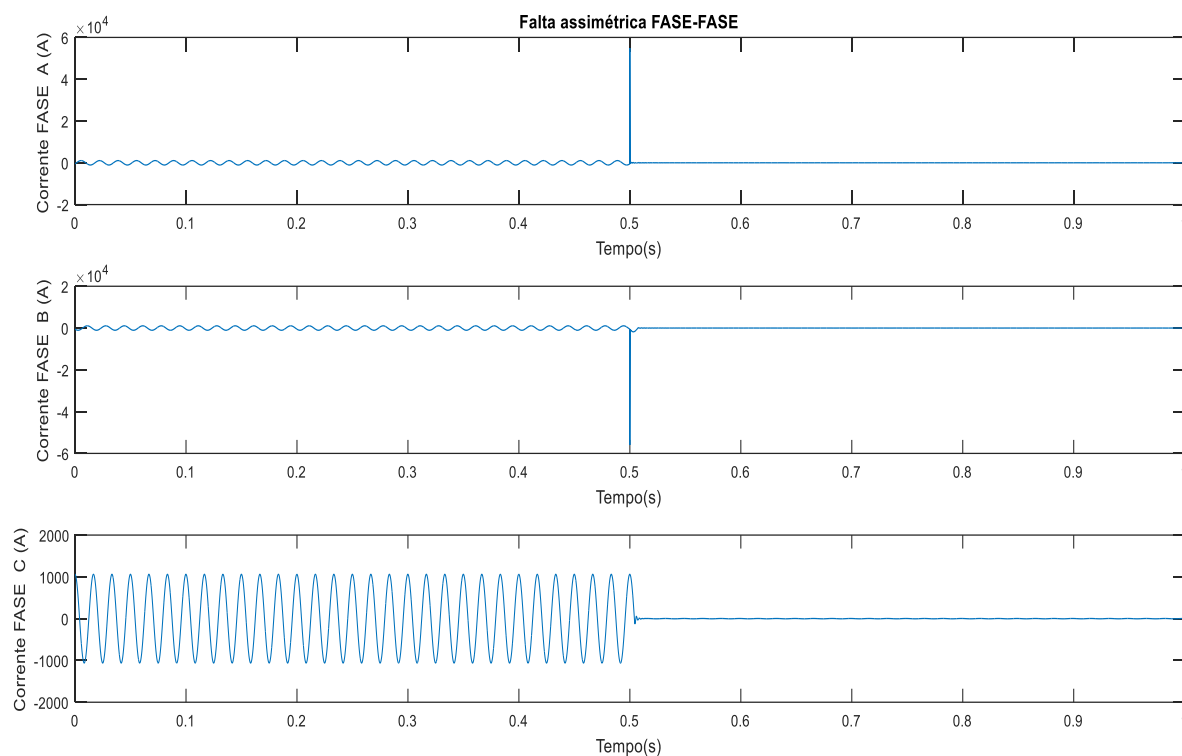


Figura 3.7 – Simulação falta FF entre as fases A e B

Simulou-se, na figura 3.7, uma falta FF entre as fases A e B, porém qualquer par de fases poderia ser utilizado com resultados análogos. Tem-se como pico de corrente subtransitória, nas fases A e B:

- Fase A = 55 kA.
- Fase B = -56 kA.

3.6 – Falta fase-fase-fase (FFF):

O ultimo tipo de falta, o FFF simétrico, ocorre quando há contato direto entre as três fases. Este tipo de falta é, dentre as faltas, a de maior índice de raridade, correspondendo a 0,6% do total de faltas em linhas 230 kV (SAADAT,2010).

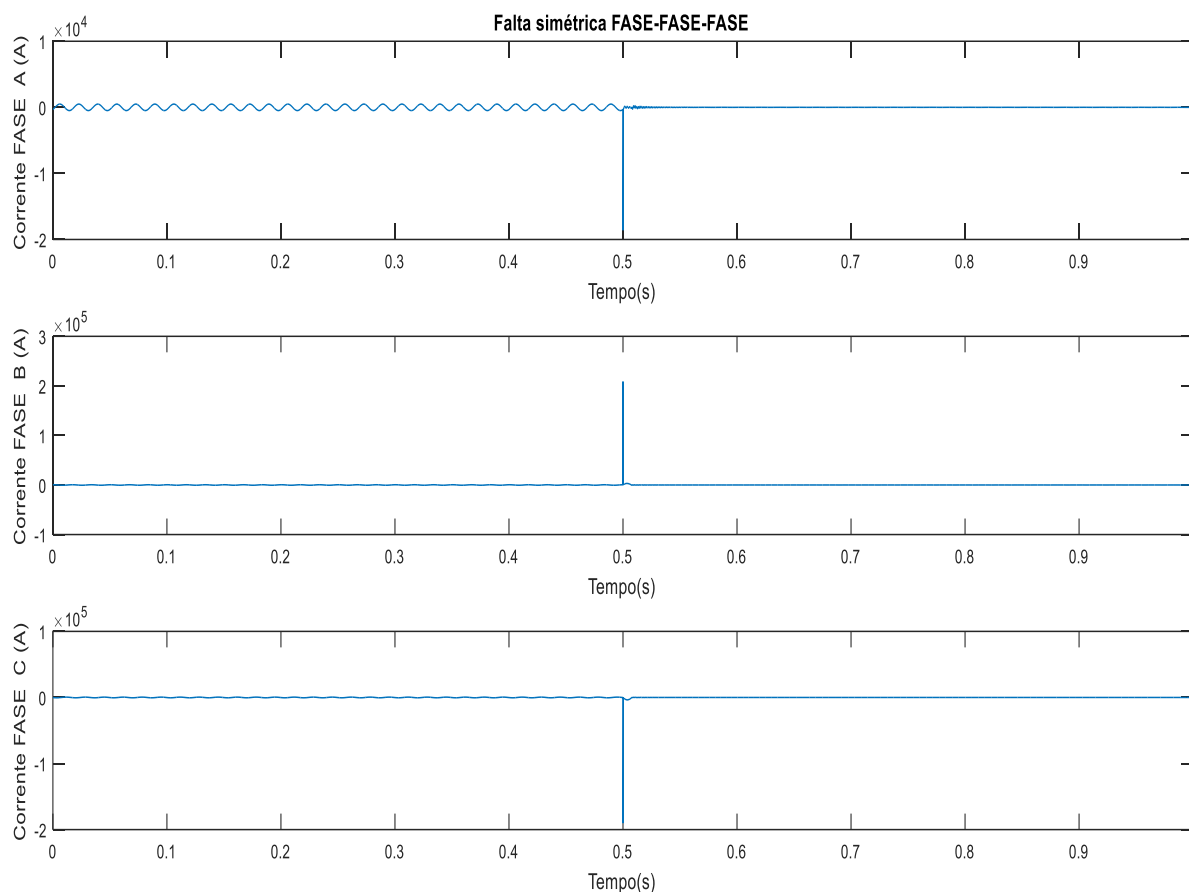


Figura 3.8 – Simulação falta FFF simétrica

Pela figura 3.8, tem-se, como pico de corrente subtransitória nas fases:

- Fase A = -18,61 kA.
- Fase B = 208,9 kA.
- Fase C = -190,3 kA.

3.7 – Comparativo:

Tabela 3.1 – Comparativo entre os picos de corrente subtransitória entre as faltas

	FASE A	FASE B	FASE C
FALTA FT	-51,66 kA	-	-
FALTA FFT	-	-160 kA	210 kA
FALTA FFFT	-18 kA	201,4 kA	-188,9 kA
FALTA FF	55 kA	-56 kA	-
FALTA FFF	-18,6 kA	208,9 kA	-190,3 kA

Através da tabela 3.1 é possível realizar uma análise comparativa entre os picos de corrente subtransitória de falta entre todos os tipos de falta. Nela vê-se que o maior pico de corrente subtransitória ocorre na falta simétrica fase-fase-fase, na fase B, com valor de pico de 208,9 kA. O menor pico de corrente ocorre na fase A da falta fase-fase-fase-terra, possuindo pico de 18 kA, em módulo, logo é possível observar a importância vital do sistema de proteção, pois o pico de corrente chega casa de quilo ampères, a ausência de um sistema de proteção traria consequências drásticas ao sistema elétrico de potência. Vale também ressaltar a semelhança entre os picos subtransitórios nas faltas FFFT e FFF (SAADAT,2010).

3.8 – Fatores influentes na intensidade do pico de corrente subtransitória de falta:

Dentre os fatores que influenciam a severidade da falta, para a linha de transmissão estudada, destacam-se:

- A posição ao decorrer da linha de transmissão onde ocorreu a falta.
- A resistência de falta *Ron*.

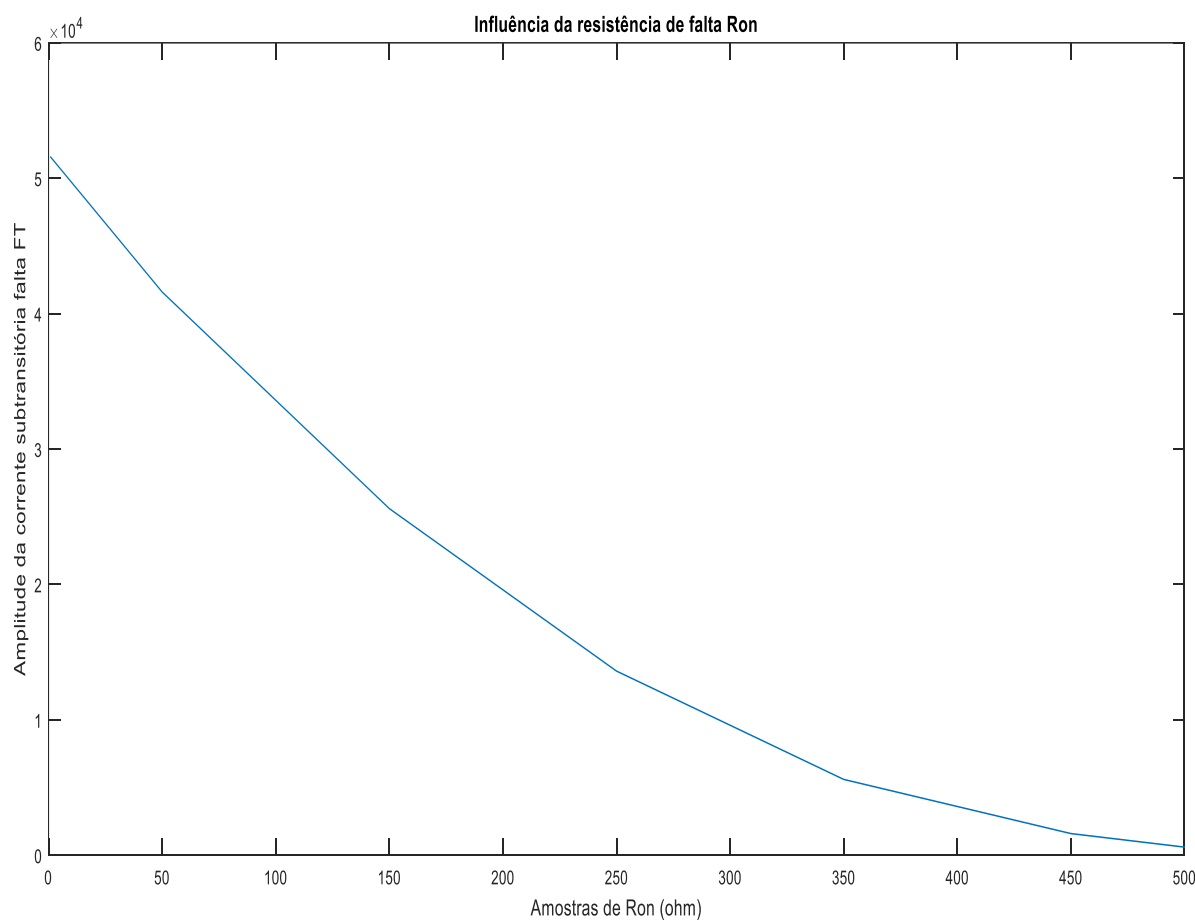


Figura 3.9 – Variação do pico de corrente subtransitória em função da resistência de falta

A fim de simular o comportamento da linha em estudo para variação da resistência de falta e da posição da falta na linha realizou-se experimentos utilizando a falta fase-terra, que possui maior probabilidade de ocorrência na prática. A figura 3.9 foi obtida alterando a resistência de falta R_{on} em um intervalo de $0,75 \Omega$ a 500Ω , logo verificou-se que as grandezas são inversamente proporcionais, ou seja, o aumento na resistência de falta gera uma redução no pico de corrente subtransitória de falta. O que é algo constatável observando a figura 2.18, pois o aumento da resistência de falta R_{on} faz com que o fluxo de corrente para o ramo de curto-circuito diminua, quando as chaves estão fechadas, reduzindo a intensidade da falta. A reciprocidade também é válida, quanto menor o valor de R_{on} mais corrente flui das fases para os ramos de curto-circuito da falta, aumentando o pico da corrente de sobrecarga de falta, e com isso, a severidade da falta.

Para simular a variação do pico de corrente de falta em função da posição em que a falta ocorre na linha de transmissão, posicionou-se o bloco de falta em todos os vãos entre as torres desde a geração até a subestação.

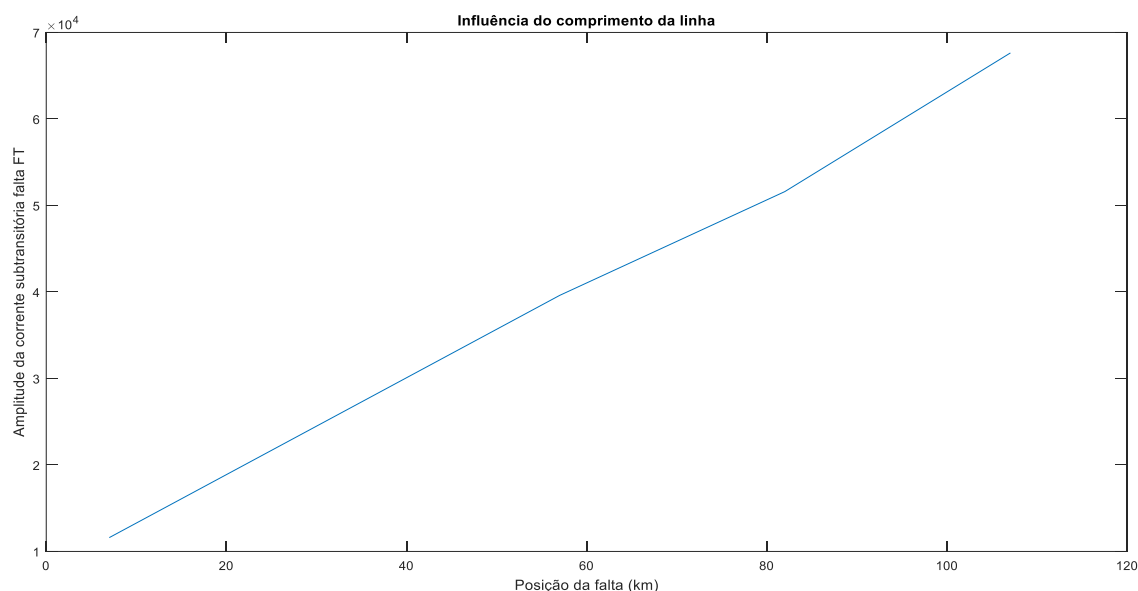


Figura 3.10 – Variação do pico de corrente subtransitória em função da posição na linha na qual ocorre a falta

A figura 3.10 foi construída a partir da variação da posição de ocorrência de falta na linha de transmissão estudada. Em âmbito simulatório para realizar o experimento retirou-se todos os blocos de linha *Pi Section Line*, deixando apenas um bloco. Na linha estudada, da figura 2.17, a primeira falta ocorre no sétimo quilômetro de linha, após as torres LMAA/LMAT, posteriormente variou-se em intervalos de 25 quilômetros de linha até alcançar a subestação (102km). O bloco *Pi Section Line* utilizado neste experimento foi configurado mantendo os parâmetros fundamentais de linha das torres tipo LMEL, pois são elas que cobrem a maior parte da linha (78 km), e com isso variou-se apenas o tamanho da linha no bloco.

O resultado apresentado na figura 3.10 mostra que a variação da corrente de pico subtransitoria em função do ponto de ocorrência da falta segue um parâmetro próximo ao linear, ou seja, o pico de corrente cresce a medida que a falta se distancia da geração.

4 Conclusões

Neste trabalho foi apresentado uma simulação computacional de uma linha de transmissão 230 kV com 102,8 quilômetros de comprimento, interligando uma subestação elevadora na cidade de Linhares – ES até uma subestação abaixadora na cidade de São Mateus – ES. Viu-se que nesta linha há uma peculiaridade, as torres de transmissão não são uniformes, sendo divididas em (LMAA/LMAT/LMSE/LMSP/LMEL). Viu-se a partir daí que a linha é constituída por três cabos condutores (fase simples), um cabo para-raio e um cabo de fibra óptica. A partir dos catálogos dos fabricantes obteve-se a resistência série da linha, e através de cálculos obteve-se os demais parâmetros fundamentais da linha (indutância série, capacitância paralelo). A partir de tais informações foi possível simular computacionalmente tal linha, com objetivo de visualizar sua energização e realizar um estudo sobre possíveis faltas.

Informações interessantes resultaram da simulação, destacando-se, o comportamento da linha ao ser energizada, obtendo os valores nominais de tensão e corrente da mesma. Posteriormente, com a linha energizada realizou-se uma análise de todas as possíveis faltas (simétricas e assimétricas). A partir destas obteve-se uma amostragem das correntes subtransitórias de falta na linha, verificando que são valores demasiadamente altos chegando, nesta linha, a casa de 200 kA de corrente, tais correntes podem ser extremamente danosas a todo sistema. Logo ciente de tais surtos foi possível notar que é de vital importância o correto dimensionamento do sistema de proteção, para blindar não só a linha de transmissão em si, como as cargas que dela são alimentadas.

Finalizando o trabalho verificou-se que alguns fatores podem influenciar na intensidade da falta, destacando-se a posição da falta e a resistência de falta. Viu-se que o aumento da resistência de falta gera uma regressão no surto, porém na prática não é possível determinar tal resistência, já que este valor dependerá de situações climáticas e características elétricas da linha. Porém a relação da posição da falta em relação à intensidade do surto é uma informação demasiadamente importante, pois permite a concessionária de energia criar um sistema detector de correntes de falta, e em caso de ocorrência desta, a partir do valor de corrente de falta medido é possível à concessionária estipular o local da falta, facilitando o tempo e a logística para reparo do problema.

Referências Bibliográficas

SAADAT, Hadi. *Power system analysis*. 3. ed. New York: McGraw-hill, 2010. 38p

Governo Brasileiro. *Rede de transmissão de energia brasileira*. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2011/12/rede-de-transmissao-supera-107-mil-quilometros>> Acesso em: 20 de agosto de 2018.

NUNES, Edson. *Linhas de transmissão de energia elétrica*. Apostila. Faculdade Nobre. Bahia, 2016. Np

LEÃO, R. *Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica*. Apostila. Universidade Federal do Ceará. Ceará, 2009. 39p

CHAPMAN, Stephen J. *Fundamentos de Máquinas Elétricas*, 5. ed. New York: McGraw-hill, 2012. 704p

Operadora Nacional do Sistema. *Matriz energética brasileira*. Disponível em: <https://www.ons.br/search?q=Matriz+energ%C3%A9tica+brasileira+2018&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiL27b8hebdAhWDIpaKHZI3CYEQ_AUICigB&biw=1366&bih=626#imgrc=07grHX4LLIWvKM> Acesso em: 21 de agosto de 2018.

WEG. *Catálogo transformadores e reatores WEG*. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%2CTransmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Transformadores-e-Reatores-a%C3%93leo/Transformadores-de-Distribui%C3%A7%C3%A3o-a-%C3%93leo/13,8kV-a-240V/c/GTD_TO_TOD_PEQ>. Acesso em: 22 de agosto de 2018.

Ministério de Minas e Energia. *Sistema hierárquico departamentos envolvidos ao Sistema elétrico brasileiro*. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/acesso-a-informacao/institucional/competencias>> Acesso em: 30 de agosto de 2018.

LINHARES a São Mateus. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Linhares-SãoMateus\(Esp%C3%ADrito_Santo\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Linhares-SãoMateus(Esp%C3%ADrito_Santo))>. Acesso em: 01 de setembro de 2018.

ELÉTRICA Sistemas de Energia. 1.ed. Univerdade de Campinas. Campinas, 2010, cap.5, np

FERRARO, A.G; ARTICO, M.; BIANCO, B.A. *Proteção de sistemas elétricos de potência com ênfase em linhas de transmissão*. TCC (Graduação) Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universade São Francisco. Itatiba, 2013.

FILHO, João Mamede. *Proteção de Sistemas Elétricos de Potência*. São Paulo: Ltc, 2011. 600p

Alubar Metais e Cabos S/A. *Catálogo de condutores*. Disponível em:
<https://www.alubar.com.br/pt-br/catálogo_condutores>. Acesso em: 03 de setembro de 2018.

Cordeiro S/A. *Cabo 3/8''*. Disponível em:
<https://www.cordeiro.com.br/pt-br/catálogo_para-raios>. Acesso em: 05 de setembro de 2018.

Furukawa Latam S/A. *Catálogo fibra óptica OPGW*. Disponível em:
<https://www.furukawalatam.com/pt-br/catálogo_OPGW>. Acesso em: 10 de setembro de 2018.

Grantel Equipamentos S/A. *Catálogo isoladores compostos*. Disponível em:
https://grantequipamentos.com.br/catálogo_isoladores_compostos. Acesso em: 20 de setembro de 2018.

CAMPOS, José Carlos da Costa. *Matrizes de transformação reais aplicadas a linhas de transmissão de circuito duplo*. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Departamento de Sistemas e Controle de Energia, Universidade de Campinas. Campinas, 2009.

PRADO, A. J.; PISSOLATO FILHO, J.; KUROKAWA, S.; BOVOLATO, L. F.; *Modal transformation analyses for double three-phase transmission lines*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 22, no. 3, pp. 1926-1936, Julho, 2007.

POMILIO, J. A.; MARAFÃO, Joanna H. A. G. *Improved Three-Phase High-Quality Rectifier With Line-Commutated Switches*. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, no.3, pp. 640-648, 2004.