

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS CÂMPUS JATAÍ**

BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EDUARDO DOS SANTOS SILVA

**CÁLCULO DE CURTO-CIRCUITO FASE TERRA COM MEDIÇÃO DIRETA
DA RESISTÊNCIA DA TERRA**

Jataí - GO

Fevereiro/2022



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Eduardo dos Santos Silva

Matrícula: 20141020040256

Título do Trabalho: Cálculo de curto-circuito fase terra com medição direta da resistência da terra.

Autorização - Marque uma das opções

1. (x) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

_____, Jataí_____, ____03____/____03____/2022____.
Local Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

EDUARDO DOS SANTOS SILVA

**CÁLCULO DE CURTO-CIRCUITO FASE TERRA COM MEDIÇÃO DIRETA
DA RESISTÊNCIA DA TERRA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás, Câmpus Jataí para obtenção
do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Semensato.

Jataí - GO

Fevereiro/2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Silva, Eduardo dos Santos.

Cálculo de curto-circuito fase terra com medição direta da resistência da terra [manuscrito] / Eduardo dos Santos Silva. -- Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2022.

68f. ; il.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Semensato.

Bibliografias.

1. Curto-circuito. 2. Falta de alta impedância. 3. Resistência de aterramento. 4. Redes de distribuição. I. Semensato, Marcelo. II. IFG, Câmpus Jataí. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.
Bibliotecária - Rosy Cristina O. Barbosa - CRB 1/2380 – C. Jataí. Cód. F021/2022-1.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

EDUARDO DOS SANTOS SILVA

CÁLCULO DE CURTO-CIRCUITO FASE TERRA COM MEDIÇÃO DIRETA DA RESISTÊNCIA DA TERRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Monografia defendida e aprovada, em 03 de fevereiro de 2022, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Semensato

Presidente da banca / Orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Ma. Camila Dias de Jesus

Membro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Dra. Jaqueline Oliveira Rezende

Membro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

2022

Documento assinado eletronicamente por:

- **Camila Dias de Jesus, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 01/03/2022 09:56:08.
- **Jaqueline Oliveira Rezende, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 22/02/2022 22:28:13.
- **Marcelo Semensato, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 22/02/2022 21:54:40.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 31/01/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 241241

Código de Autenticação: 3accb20e6d



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek, nº 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3605-0843 (ramal: 843)

AGRADECIMENTOS

Aos meu pai Pedro Rogerio de Almeida Silva, minha mãe Luciana dos Santos Silva por nunca medirem esforços proporcionando-me as melhores oportunidades.

EDUARDO DOS SANTOS SILVA

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo percorrer o circuito I de distribuição de média tensão - 13,8 kV - do município de Jataí por meio do *software* Matlab efetuando cálculos de corrente de curto-circuito monofásico em busca de possíveis faltas de alta impedância. Resistências de aterramento aferidas em alguns pontos da cidade tendo em vista os efeitos do curto-circuito de alta impedância para a sensibilidade da proteção e a segurança pessoal.

Palavras-chaves: curto-circuito, falta de alta impedância, resistência de aterramento, redes de distribuição.

ABSTRACT

This work aims to go through the medium voltage distribution circuit I - 13.8 kV - in the municipality of Jataí through the Matlab software, performing single-phase short-circuit current calculations in search of possible high impedance faults. Ground resistances measured at some points in the city in view of the effects of the high impedance short circuit on the sensitivity of protection and personal safety.

Keywords:. high impedance faults. ground resistance. short circuit. deaths. distribution networks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ocorrência dos Curtos-Circuitos	16
Figura 2 - Circuito equivalente do curto trifásico	18
Figura 3 - Gerador com as fases b e c em curto por meio de uma impedância	19
Figura 4 - Gerador com a fase a em curto-circuito com a terra	21
Figura 5 – Formas de onda intermitência, não-linearidade e buildup	24
Figura 6 - Percentual de mortes do total de acidentes envolvendo FAIs	25
Figura 7 – Representação circuito 1 de distribuição em média tensão (13,8 kV) do município de Jataí-GO.....	30
Figura 8 – Representação de como deve ser efetuada a aferição.....	32
Figura 9 – Zona de patamar para encontrar a resistência real.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Corrente encontrada na barra 119 mediante resistência de solo.....	36
---	----

LISTA DE SIGLAS

FAI	faltas de alta impedância
ETD	transformadoras de distribuição
SEP	sistema elétrico de potência
pu	sistema por unidade
S_{base}	potência de base
V_{base}	tensão de base
VA	potência aparente
V_{base}	impedância acumulada de sequência positiva
Z_f	impedância de falta
Z_s	impedância síncrona do gerador
Z_{in}	impedância de entrada da rede
COD	centro de operações da distribuição
MM	mathematical morphology
CODO	closing opening difference operation
TWD	wavelet discreta
GRNN	generalized Regression Neural Networks
TFA	time frequency distribution
SVM	máquinas de vetores de suporte
FIS	sistema de inteligência fuzzy

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	13
2	REDE DE DISTRIBUIÇÃO	14
2.1	SISTEMA POR UNIDADE	15
3	CURTO CIRCUITO	16
3.1	Corrente de curto- circuito.....	17
3.2	Cálculo de curto-circuito	17
3.2.1	Curto-circuito Trifásico.....	17
3.2.2	Curto-circuito Bifásico.....	19
3.2.3	Curto-circuito Monofásico	21
4	FALTAS DE ALTA IMPEDÂNCIA.....	23
5	SOLUÇÕES E POSSIBILIDADES.....	26
6	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	29
7	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
	ANEXO 01.....	41
	Apêndice	45

1 INTRODUÇÃO

Os curtos-circuitos são um problema desde o início da distribuição de Energia elétrica e segundo Emerenciano, 2012 estima-se que 60% do total de curtos sejam monofásicos, 16% bifásico-terra, 15% bifásico e 6% trifásico.

Os curtos-circuitos monofásicos são classificados dentre outros em falta de alta e baixa impedância. As faltas de alta impedância (FAIs) são de difícil detecção e localização pois os dispositivos de proteção geralmente atuam com sobrecorrente e neste caso, por ser de alta impedância, a corrente acaba sendo uma parcela da corrente nominal, não ativando os equipamentos de proteção, diferentemente das faltas de baixa impedância onde as correntes elevadas são o gatilho para o acionamento desses equipamentos (CAVALARI et al., 2020).

Inúmeras técnicas e dispositivos vem sendo estudados desde a década de 70 para a detecção e localização de FAIs, mas até o momento apenas 80% dessas são detectadas por dispositivos de proteção da atualidade, podendo ainda causar muitos prejuízos financeiros e acidentes que apresentam em média 50% de letalidade nos casos registrados no Brasil (SILVA, 2020). Os altos custos e a ineficiência de comunicação entre os dispositivos e a central inviabilizam o uso desses métodos e dispositivos de detecção de FAIs. (FARIAS, 2013).

Buscando identificar possíveis FAIs, se faz necessária a coleta das resistências de aterramento do Circuito 1 de Distribuição em média tensão (13,8 kV) do município de Jataí-GO, pertencente ao sistema da distribuidora ENEL Distribuição S.A. – ENEL D., e subsequente simulação no *software* Matlab com a adição dos valores de resistência de solo obtidas a campo com terrômetro a fim de identificar locais de possíveis FAIs para a prevenção de acidentes e aviso à concessionária de locais com predisposição, onde será necessário uma manutenção com maior regularidade.

1.1 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi organizado da seguinte maneira:

- Capítulo 1: Introdução, Organização Do Trabalho, Rede De Distribuição E Sistema Pu;
- Capítulo 2: Curto-Circuito, Corrente De Curto, Cálculo De Curto: Trifásico, Bifásico e Monofásico;
- Capítulo 3: Faltas De Alta Impedância, Soluções E Possibilidades;
- Capítulo 4: Apresentação E Análise Dos Resultados;
- Capítulo 5: Conclusão.

2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Após a geração de energia elétrica, a transmissão é necessária para levar a energia da geração aos grandes polos consumidores. A rede distribuição é de suma importância para adequar as tensões ao consumo, pois a transmissão se caracteriza por elevadas tensões. A rede de distribuição possui dispositivos para controlar a tensão à níveis adequados e para a proteção da rede.

Essas redes de são compostas por linhas de média e baixa tensão que tem sua origem em Estações Transformadoras de Distribuição (ETDs), estas por meio de subestações rebaixam a energia a níveis compatíveis com a distribuição. Geralmente são compostas por fios condutores, equipamentos de fixação, controle, proteção e transformadores necessários para rebaixar a tensão a níveis do consumidor final.

Segundo Barros, 2014 existem quatro tipos de redes de distribuição de energia elétrica: Rede de Distribuição Aérea Convencional, Rede de Distribuição Aérea Compacta, Rede de Distribuição Aérea Isolada e Rede de Distribuição Subterrânea, organizadas na ordem de confiabilidade e custo da menor para maior.

O sistema de distribuição de energia brasileiro é composto por redes que partem de (ETDs) podendo ser redes radiais ou anel, mas em suma no Brasil predominam redes radiais com classe de tensão de 13,8kV entre as fases. Mesmo com maior confiabilidade das redes subterrâneas a grande maioria das redes é do tipo aérea convencional (SILVA, 2020).

O sistema de distribuição radial simples é o mais barato, mais simples e menos eficiente tendo a energia fluindo em um único sentido da fonte ao consumidor (KINDERMANN, 1997). As redes radiais são redes onde a subestação alimenta um tronco principal e desta parte muitas ramificações com a finalidade de atender diversos consumidores (EMERENCIANO, 2012).

Redes de distribuição elétrica dispõem de uma gigantesca gama de equipamentos como proteção, manobra, transformação, compensação de reativo e regulação de tensão.

Ainda assim no Brasil predominam redes de distribuição elétrica no formato aérea convencional pelo seu baixo custo e densidade arbórea dos locais onde se faz a distribuição.

Os níveis elevados de falhas na rede de distribuição influenciam negativamente os indicadores de continuidade do fornecimento de energia elétrica das concessionárias de energia elétrica sendo os principais: Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão (FIC) e Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão (DIC)(SILVA, 2020).

2.1 SISTEMA POR UNIDADE

Com as unidades do Sistema Internacional (SI) podemos descrever o valor de qualquer quantidade, por exemplo, expressar potência em Watts, corrente em Ampère e tantas outras. Mas se torna mais fácil para cálculos no sistema elétrico quando se tem uma referência um valor de base. Assim, como o sistema elétrico de potência (SEPs) é formado por uma vasta quantidade de transformadores para adequar as tensões às necessidades dos consumidores, a fim de simplificar os cálculos de rede se utiliza o Sistema por Unidade, mais conhecido por *pu*, de forma a expressar as grandezas elétricas de um circuito de forma normalizada onde se tem a possibilidade de modelar o transformador como relação de TAPS unitário e a facilidade de uso de cálculos computacionais. Um sistema baseado em uma potência de base S_{base} , arbitrária, e em uma tensão de base V_{base} , que será a tensão nominal da rede é possível calcular todas outras bases (corrente e impedância) e calcular os valores todos em *pu*.

Um valor em *pu* é o valor real da grandeza tensão, corrente, impedância ou outros escritos em relação a um valor de base da mesma grandeza (WILDI, 2007, p. 10.).

$$Grandeza\ por\ unidade = \frac{Grandeza\ real}{Valor\ de\ base\ da\ grandeza}$$

Segundo Fitzgerald, 2006, podemos escolher arbitrariamente apenas duas grandezas, os valores de S_{base} e V_{base} os demais valores devem ser determinados pelas equações:

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} V_{base}}$$

$$Z_{base} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}}$$

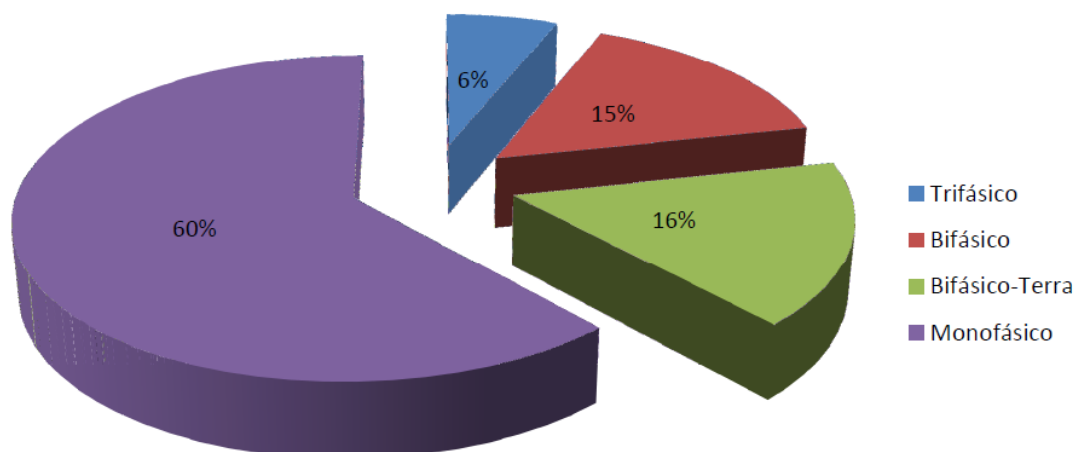
3 CURTO-CIRCUITO

Estudar curtos-circuitos é necessário, pois assim ajustam-se relés de proteção, seleciona-se fusíveis, selecionamos disjuntores, estimamos as consequências dos curtos em cabos e equipamentos elétricos, determinamos sobretensões, dimensionamos malhas de aterramento e determinamos as impedâncias corretas dos transformadores de força.

As causas das faltas nas linhas de distribuição são inúmeras, tendo como causas mais comuns as quedas de árvores, vendavais, descargas atmosféricas e vandalismo (BARROS, 2014).

Com o passar do tempo os dispositivos de proteção vem evoluindo significativamente, mas ainda existem curtos com problemas no diagnóstico, dificultando a atuação da proteção, um destes distúrbios é a falta de alta impedância FAI (FARIAS, 2013). A ocorrência dos curtos-circuitos nas redes distribuição está expressa na Figura 1.

Figura 1- Ocorrência dos Curtos-Circuitos.



Fonte: (EMERENCIANO, 2012)

3.1 CORRENTE DE CURTO- CIRCUITO

Do distúrbio FAIs origina-se correntes de curto-circuito onde a corrente de falta tem baixa amplitude, e com mesma ordem das correntes pertinentes ao pleno funcionamento do sistema, vistas muitas vezes como energização ou desenergização de cargas ou chaveamentos de capacitores (SANTOS, W. C. et al, 2012.).

Relatado por Santos et al., 2017, um experimento desenvolvido em 1986, utilizando uma rede de distribuição em média tensão (13,8 kV) e um resistor variável como resistência de solo demonstrou que em um solo arenoso a corrente de curto-circuito não é simétrica e o semi-ciclo positivo é maior em amplitude que o negativo, também demonstrou que sempre há presença da terceira e quinta harmônica. Sendo esta corrente assimétrica, ela é composta por uma corrente simétrica senoidal e uma contínua. O cálculo dessa corrente é necessário para dimensionamentos de disjuntores, religadores e chaves fusíveis entre outros.

3.2 CÁLCULO DE CURTO-CIRCUITO

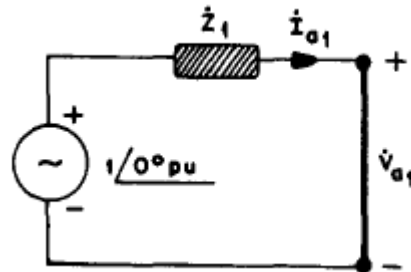
As correntes de curto-circuito que podem afetar a rede de distribuição são: curto-circuito trifásico, bifásico e monofásico.

3.2.1 Curto-circuito Trifásico

Para se obter o módulo da corrente de curto-circuito trifásico inicia-se com o equivalente de Thévenin de todo sistema com origem no curto-circuito. Assim as impedâncias do sistema são acumuladas em uma só, conhecida como impedância de Thévenin.

No curto trifásico como as correntes são balanceadas pode-se considerar apenas a sequência positiva. Sendo que Z_1 é a impedância acumulada de sequência positiva desde o gerador até o curto-circuito, assim é a impedância de Thévenin da sequência positiva vista pelo ponto do curto-circuito como demonstra a Figura 2.

Figura 2 - Circuito equivalente do curto trifásico.



Fonte: (KINDERMANN, 1997.)

$$I_{a1} = \frac{1}{Z_1} \quad (3.2.1)$$

Utilizando a transformação de Fortescue tem-se:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix}$$

Assim

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \quad (3.2.2)$$

Como

$$I_{a0} = 0 \quad (3.2.3)$$

$$I_{a2} = 0 \quad (3.2.4)$$

Tem-se

$$I_a = I_{a1} = \frac{1}{Z_1} \quad (3.2.5)$$

Em modulo

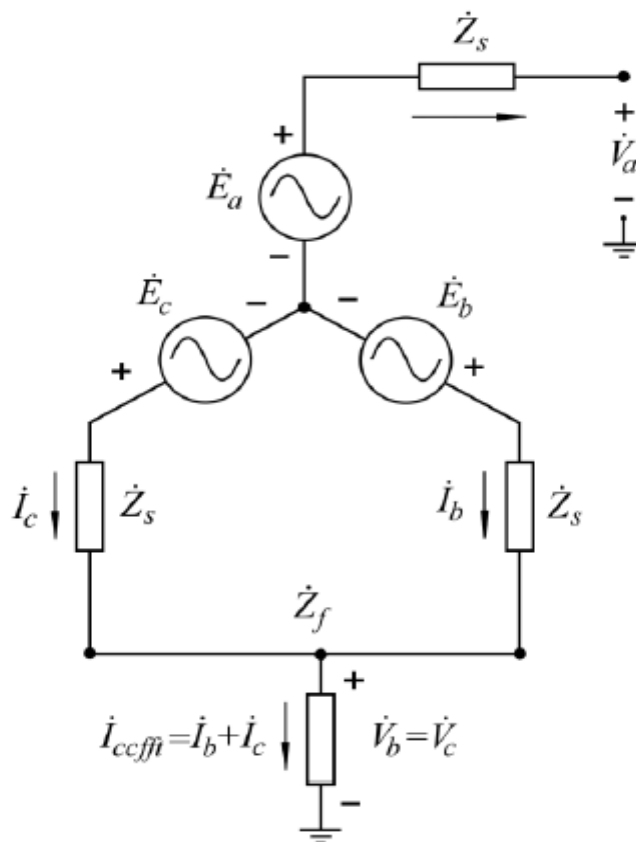
$$I_a = \frac{1}{|Z_1|} (pu) \quad (3.2.6)$$

$$I_{cc3\phi} = \frac{1}{|Z_1|} \quad (3.2.7)$$

3.2.2 Curto-circuito Bifásico

Neste caso considera-se que as fases b e c estão curto-circuitadas e conectadas ao terra por meio de uma impedância de falta Z_f deixando a fase a em aberto como demonstra a Figura 3.

Figura 3 - Gerador com as fases b e c em curto por meio de uma impedância.



Fonte: ALMEIDA, 2017

$$V_b = V_c = Z_f(I_b + I_c) \quad (3.2.8)$$

$$I_{cc2\emptyset} = I_b + I_c \quad (3.2.9)$$

$$I_a = 0 \quad (3.2.10)$$

Substituindo $V_b = V_c$

$$V_a^1 = V_a^2 \quad (3.2.11)$$

$$V_b = Z_f[2I_a^0 + (a^2 - a^{-1})I_a^1 + (a^{-1} - a^2)I_a^2] \quad (3.2.12)$$

Sendo $a^2 + a^0 = -1$

$$V_b = Z_f(2I_a^0 - I_a^1 - I_a^2) \quad (3.2.13)$$

$$I_a^0 + I_a^1 + I_a^2 = 0 \quad (3.2.14)$$

$$V_b = 3Z_f I_a^0 \quad (3.2.15)$$

$$V_b = V_a^0 - V_a^1 \quad (3.2.16)$$

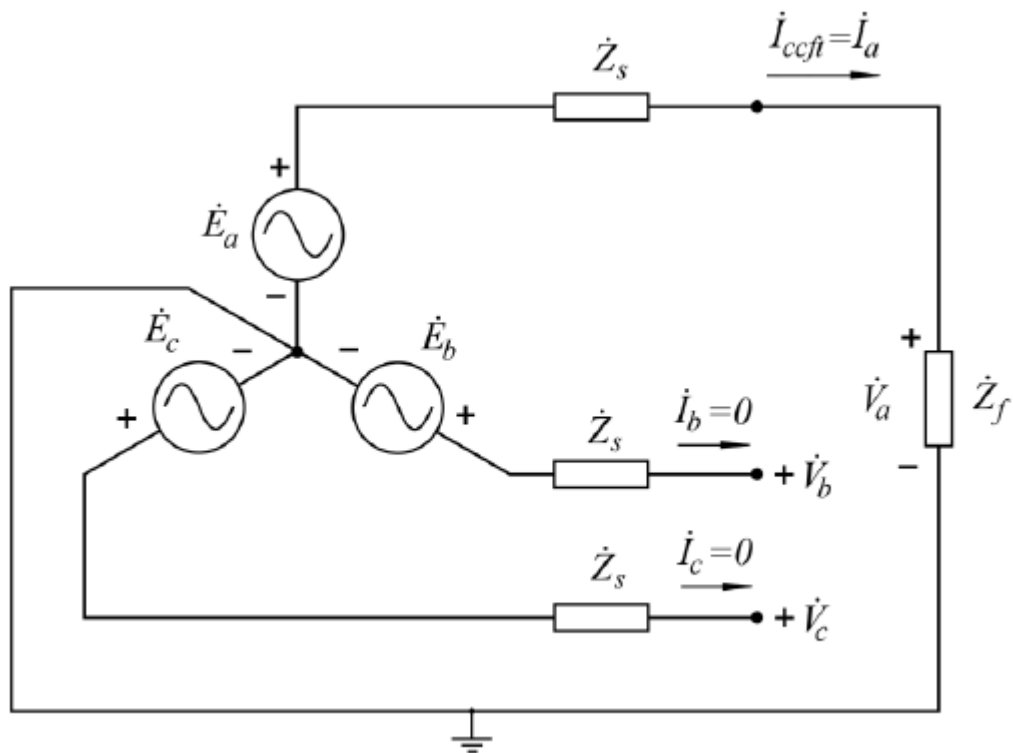
$$3Z_f I_a^0 = -Z_s^0 I_a^0 - E_a + Z_s^1 I_a^1 \quad (3.2.17)$$

$$I_{cc2\emptyset} = 3I_a^0 \quad (3.2.18)$$

3.2.3 Curto-circuito Monofásico

Para a exemplificação desse modelo é necessário considerar um gerador trifásico onde a fase a foi conectada ao terra por meio da impedância de falta Z_f e Z_s representando a impedância síncrona do gerador. Neste exemplo, as fases b e c são consideradas em aberto já que as cargas conectadas a elas são consideradas desprezíveis durante o curto como retrata a figura 4.

Figura 4 - Gerador com a fase a em curto-circuito com a terra.



Fonte: ALMEIDA, 2017

$$V_a = Z_f I_a \quad (3.2.19)$$

$$I_b = I_c = 0 \quad (3.2.20)$$

Adicionando os valores das correntes a transformação de Fortescue tem-se:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} I_{a0} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$I_a^0 = I_a^1 = I_a^2 = \frac{I_a}{3} \quad (3.2.21)$$

$$V_a = V_a^0 + V_a^1 + V_a^2 \quad (3.2.22)$$

$$V_a = E_a - Z_s^1 I_a^1 - Z_s^2 I_a^2 - Z_s^0 I_a^0 \quad (3.2.23)$$

Como a corrente das sequencias é igual

$$V_a = E_a - I_a^0 (Z_s^1 - Z_s^2 - Z_s^0) \quad (3.2.24)$$

substituindo

$$Z_f I_a = E_a - \frac{I_a}{3} (Z_s^1 - Z_s^2 - Z_s^0) \quad (3.2.25)$$

Sabendo que

$$I_a = 3I_a^0 \quad (3.2.26)$$

Das as substituições e como trabalharemos em pu temos:

$$I_{cc1\phi-terra} = \frac{3pu}{Z_s^1 + Z_s^2 + Z_s^0 + 3Z_f} \quad (3.2.27)$$

4 FALTAS DE ALTA IMPEDÂNCIA

As faltas de alta impedância (FAIs) se destacam entre os distúrbios do sistema de distribuição de energia elétrica, ocorrendo quando um condutor aéreo energizado entra em contato com uma superfície “material” com predominância resistiva e alto valor de impedância (COSTA et al., 2015).

As FAIs geram correntes de baixa magnitude devido o material de contato ser de alta impedância, geralmente não ativando os dispositivos de proteção já que estes trabalham com sobrecorrente, impossibilitando a identificação da falta, pois os valores de corrente são valores pertinentes a alimentação da carga (SANTOS et al., 2017).

Em locais urbanos as concessionárias identificam as FAIs não interrompidas pelos dispositivos de proteção por meio da reclamação dos consumidores, contudo em locais rurais elas podem permanecer por dias. Em muitos casos, os condutores permanecem energizados até que algum equipamento de manobra ou de proteção seja aberto por decisão do Centro de Operação da Distribuição (COD).

Quando as FAIs ocorrem, todos os consumidores alimentados por esse condutor são prejudicados, dependendo do período para se reestabelecer a energia a concessionária acaba por perder dinheiro com energia desperdiçada e ainda com indenização dos consumidores. Contudo, a maior preocupação é que com a demora para a identificação o condutor continua energizado trazendo riscos para a população, animais e a bens privados (SOUZA, 2017).

É natural que a validação de uma falta seja dada pela magnitude da corrente, assim a proteção por sobrecorrente é a mais difundida. Sendo em muitos casos a única forma de proteção disposta na rede, este tipo de proteção que independe do ângulo de fase e depende unicamente da magnitude da corrente chama-se proteção não direcional de sobrecorrente também existindo proteção de sobrecorrente direcional. Historicamente os fusíveis precedem os relés, mas para a implantação de novos dispositivos de proteção geralmente o veículo de implantação é o relé direcional e não direcional.

Nos sistemas de distribuição as proteções mais comuns são relés de sobrecorrente presentes na fase e no neutro instantâneo ou temporizado de acordo com a necessidade, além de chaves fusíveis e religadores. Geralmente os relés de sobrecorrente são ajustados para não

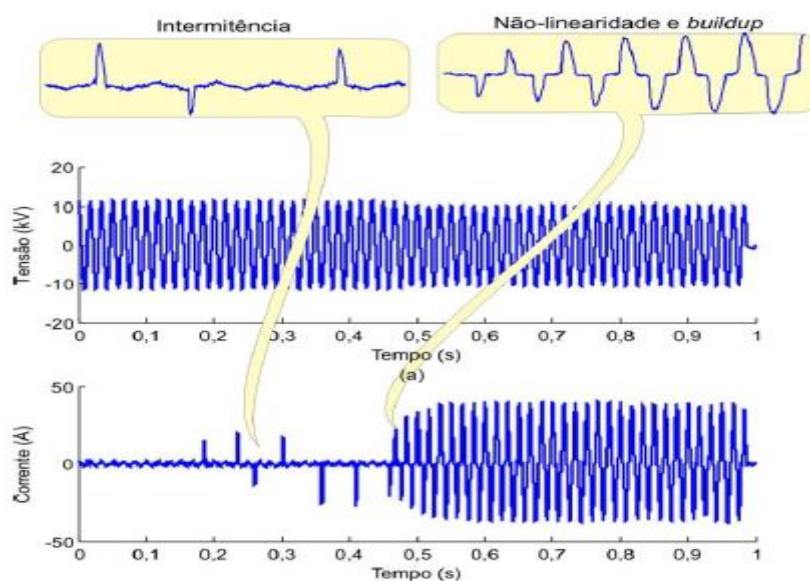
atuar com valores a partir 1,5 pu da corrente de carga do trecho onde este faz a proteção (FARIAS, 2013).

Dentre relés de sobrecorrente, o instantâneo leva esse nome mas na verdade tem um tempo na ordem de milissegundos para entrar em operação sendo apenas necessário ajustar a corrente de *pick-up*, nome dado a corrente de ativação do relé, já o relé de sobrecorrente de tempo definido pode ser ajustado para *trip* em um determinado tempo, tendo ajuste para o tempo e para a corrente de *pick-up* (PAITHANKAR & Bhide, 2003).

As FAIs provocam arcos elétricos ao entrar em contato com a superfície resultando em peculiaridades nos sinais de corrente, podendo caracterizar as FAIs em assimetria não-linear, *buildup*, *shoulder* e intermitência.

Assimetria é quando a corrente de falta possui valores de pico distintos para os semiciclos, já o não-linear ocorre quando as curvas características de tensão em função da corrente são não-lineares. No *buildup* a amplitude da corrente cresce gradualmente até valor máximo, o *shoulder* é o intervalo de constância no crescimento da corrente de falta e intermitência em alguns ciclos onde o condutor energizado não conduz corrente elétrica (SANTOS, W. C. et al 2012). Na Figura 5 pode-se verificar algumas formas de onda intermitência, não-linearidade e *buildup*.

Figura 5 – Formas de onda intermitência, não-linearidade e *buildup*.

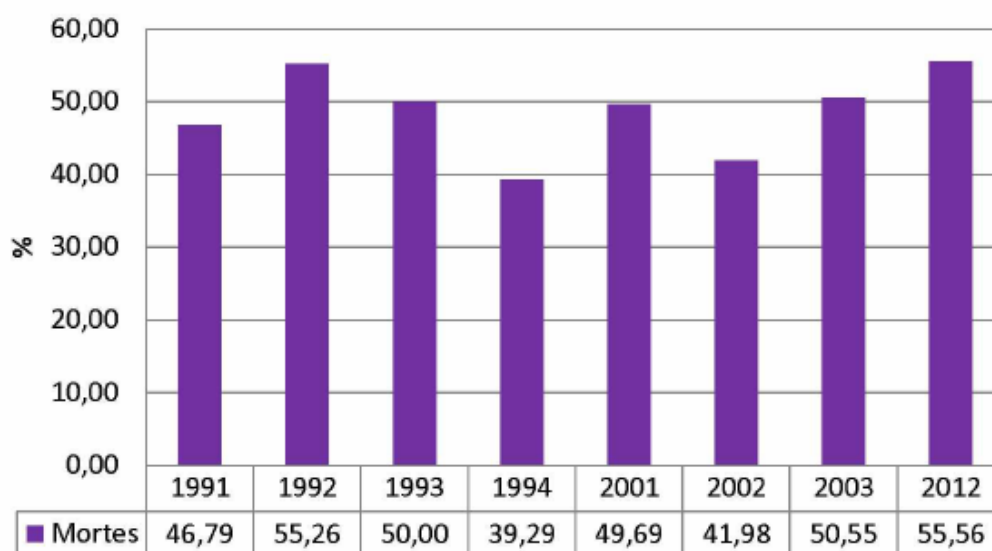


Fonte: SANTOS, W. C. et al, 2012.

As técnicas para detecção e localização de FAIs se utilizam destas formas de onda para comparação e assim podem detectar e classificar as FAIs, mas para essa comparação e classificação adequada os receptores geralmente filtram esta onda para que na chegada do dispositivo a onda esteja sem ruídos já que estes ruídos podem causar falsos verdadeiros.

Assim, inúmeras técnicas e dispositivos vem sendo estudados desde a década de 70 para a detecção e localização de FAIs, mas até o momento apenas 80% dessas são detectadas e localizadas por dispositivos de proteção da atualidade, podendo ainda causar muitos prejuízos financeiros e acidentes que apresentam em média 50% de letalidade nos casos registrados no Brasil (SILVA, 2020). Esta letalidade é descrita sem levar em considerações as lesões permanentes causadas a humanidade e a natureza, assim como mostra a Figura 6 onde é verificada a porcentagem de FAIs e a porcentagem de mortes decorrentes destas.

Figura 6 - Percentual de mortes do total de acidentes envolvendo FAIs.



Fonte: Silva, 2020.

Assim, se faz necessário o uso de proteção contra FAIs que atue com precisão e velocidade. Mesmo com baixa frequência de ocorrências há necessidade de uma solução pela

gravidade dos acidentes com humanos, onde o circuito não é desenergizado ao tocar o solo e ainda podem causar incêndios em florestas e pastagens, além dos prejuízos causados as concessionárias (SILVA, 2020).

5 SOLUÇÕES E POSSIBILIDADES

Para detectar e localizar FAIs pode-se descrever inúmeras opções, pois assim como descrito no item 3, desde a década de 70 estudos vem sendo efetivados a fim de detectar e localizar FAIs. Em seguida, em ordem cronológica será descrito uma gama de possibilidades listadas na literatura nos últimos 19 anos.

Em 2012, a solução proposta por Milioudis et al, 2012, foi o Power Line Communications (PLC), que consiste em redes inteligentes onde se fez simulações baseadas no monitoramento da impedância de entrada de rede (Z_{in}), sendo que na ocorrência da FAIs os valores de Z_{in} são alterados, sendo assim esse método demonstrou ineficiência em diferenciar FAIs de eventos transitórios, não sendo uma solução considerável devido possíveis falhas de comunicação decorrentes da internet na cidade de Jataí-GO.

Em 2013 foram descritas inúmeras tecnologias novas para a detecção de FAIs e aqui serão apresentadas três. A primeira é baseada em morfologia matemática MM - Mathematical Morphology descrita por Sheng & Rovnyak, 2004, onde se extraía informações referentes a geometria e a topologia do sinal podendo identificar sucintas alterações em uma forma de onda. A avaliação da forma de onda da tensão era realizada para comparação com informações já pré-definidas podendo ser usada em sinais unidirecionais, e buscando agregar mais ao método, usava-se em conjunto Closing Opening Difference Operation (CODO) para identificar a FAIs. O algoritmo baseado em MM normalizava o sinal de tensão de pico do seu valor nominal e posteriormente era utilizado o CODO. Esse trabalho não foi validado por se utilizar das formas de onda de tensão, já que na maioria das técnicas utiliza-se basicamente as características das formas de onda de corrente das FAIs. Sendo assim, compondo a não validação, os transformadores que recebiam o sinal de tensão teriam grande facilidade em distorcer o sinal e poderiam originar um falso verdadeiro.

Outra proposta foi feita por Eldin et al., onde utiliza-se a TWD - Transformada de Wavelet Discreta. O algoritmo extraía informação de corrente da rede e realizava a

decomposição em cinco parcelas buscando encontrar uma variação para identificar a FAIs. Como simulação para esta técnica um modelo foi criado utilizando dois resistores, um para representar o arco criado no surgimento da FAIs e outro para representar a superfície em contato, de acordo com o modelo de Kizilcay. Esse modelo é divergente da realidade, pois o não compõe muitas das características de uma FAI real, assim sendo invalidada.

Ainda em 2013 Farias, 2013, propôs a utilização do método Phase-Locked Loop (PLL) onde se avaliava o início dos transitórios presentes nas FAIs calculando um sinal de erro referente ao sinal de entrada e o sinal de saída, onde caso ocorresse um erro diferente de zero na fase ou na frequência esta informação era enviada para ser processada por TWD que extrairia os coeficientes de Wavelet do sinal usados como entrada encaminhando para uma rede neural de regressão generalizada (GRNN - Generalized Regression Neural Networks) onde esta identificaria os distúrbios conforme comparações pré-definidas. Este método é uma opção mais adequada que poderia ser implantada no Circuito 1 de Jataí-GO.

Em 2015 teve-se novamente uma gama de possíveis técnicas verificando a eficiência da Transformada de Wavelet Discreta. No referido ano, Costa et al., 2015 propôs novamente utilizá-la para detectar o início do transitório produzido por uma FAI. Esse utilizou Wavelet Discreta com efeito nas bordas e neste caso foram adicionadas as principais características das FAIs em redes de distribuição a fim de se ter uma resposta com maior exatidão.

A decomposição feita por meio da Wavelet mãe, avaliava os sinais pertinentes a FAIs reais utilizadas durante a simulação com variadas superfícies de contato para se ter maior precisão, apresentando bons resultados para o início do distúrbio em tempo real. Nesse caso necessitaria pouco esforço computacional, mas negando essa proposta pela impossibilidade de diferenciar possíveis distúrbios e ações comuns, como chaveamento de bancos de capacitores.

Outro algoritmo também foi proposto por Ghaderi et al., 2015 baseado na análise tempo- frequência (TFA - Time - Frequency Distribution) com objetivo de analisar as características das FAIs dos sistemas de distribuição, apresentando eficiência na identificação de padrões de repetição e aspectos não estacionários dos sinais. As informações para comparação foram contraídas pela distribuição de Choi e Williams e para selecioná-las utilizou-

se a análise de perda de informações, que depende da quantidade de componentes do sinal. Esse método também apresentou falhas gerando muitas sinalizações incoerentes, não conseguindo diferenciar uma FAI de um chaveamento de capacitores, não sendo uma possível solução.

Dois anos depois, Santos et al., 2017, propôs utilizar novamente Wavelet, tendo visto que este traz uma gama de possibilidades e dispõem de maior efetividade. Este algoritmo então busca encontrar as FAIS por meio da TWD, tratando da seguinte maneira: a energia gerada dos coeficientes é analisada para detectar o início do transitório gerado no início da FAI. Esses coeficientes devem ser avaliados sem a presença de ruídos para não gerar falsos positivos. Método este que demonstra efetividade se for utilizado com um filtro, podendo ser uma possível solução.

Ainda em 2017, Tonelli-Neto et al, teve a ideia de utilizar duas técnicas a fim de otimizar a assertividade. Esse compara entre elas as características de modo a se ter maior assertividade, pois a primeira utilizava sistema de inferência fuzzy (FIS - Fuzzy Inference System) e a outra utilizava rede neural - ARTMAP fuzzy (FANN - Fuzzy - ARTMAP Neural Network), onde inicialmente TDW para extrair as características do sinal. Esse método acabou por ser implantado obtendo 97% de efetividade, mas ainda enfrenta problemas com situações cotidianas de uma rede de distribuição, assim não sendo uma possível solução.

Em 2018 Filippin et al., propôs novamente uma união de métodos, iniciando da obtenção dos valores harmônicos de tensão e corrente a fim de detectar variações exclusivas de FAIs, para então utilizar decomposição de Fourier e o filtro Kalman construindo uma lógica de análise das características afim de uma detecção com confiabilidade. Acabando apenas em simulações computacionais, assim não sendo validada, impossibilitando ser uma solução.

Em 2021 tem-se novamente alguns estudos em busca de detectar e localizar FAIS, como visto no artigo escrito por Bayati et al., 2022 onde o método de localização de falhas utiliza Máquinas de Vetores de Suporte (SVMs). Este faz a localização de micro correntes encontrando até as FAIs mais desafiadoras utilizando medições locais e na extremidade da linha uma programação feita em Python, imune a ruídos e perturbação. Encontra de forma precisa a localização e a resistência da falta, sendo uma ótima possibilidade para localização.

Também em 2021 Tonelli-Neto et al., 2017 traz o método que combina transformadas de Wavelet discreta (DWT) e o sistema de inteligência Fuzzy (FIS) do tipo

Mamdani e Sugeno, testado no IEE 13 e modificado validou o esquema proposto, método este que usa sinais atuais de uma extremidade que são pré-processados pela transformada de Wavelet discreta a fim de se obter os recursos de entrada e então esses valores de entrada são fornecidos a FIS para detecção e classificação de falhas.

Inúmeras condições foram testadas e validadas. A precisão de detecção e classificação foi de 100% para as falhas testadas. Tendo como resposta para detecção de FAIs o tempo mínimo de 4,25 ciclos e máximo de 8 ciclos em alguns casos. Sendo assim é a melhor combinação de técnicas a ser implantada para detectar e classificar FAIs.

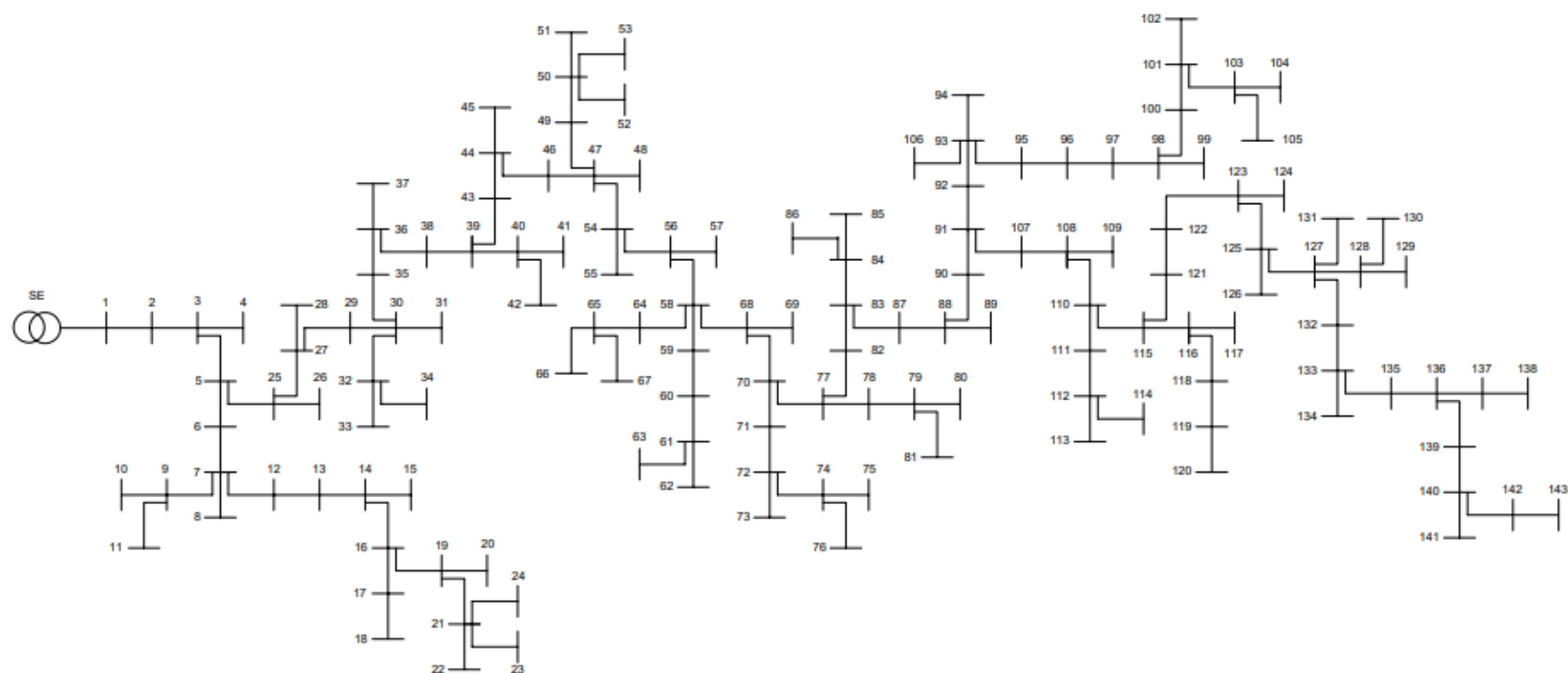
Aliado os métodos propostos em 2021 é possível uma solução para detectar e localizar FAIs, trazendo segurança para a comunidade do município de Jataí-GO e ao circuito 1 de distribuição em média tensão (13,8 kV) da distribuidora ENEL Distribuição S.A.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O circuito estudado neste trabalho é classificado como Circuito 1 de Distribuição em média tensão (13,8 kV) do município de Jataí-GO. Um circuito aéreo urbano antigo, mas com boa conservação e conectado ao Sistema Interligado Nacional- SIN

Seu tronco principal conta com 3983 metros, compondo 22,4% do circuito com cabo 2/0 AWG CAA nos ramais utiliza cabo 2AWG e 4AWG CAA atendendo mais de 6000 unidades consumidoras e para isso conta com 7 transformadores monofásicos, 93 transformadores trifásicos, onde 11 destes de propriedade particular, como representado pela Figura 7.

Figura 7 – Representação circuito 1 de distribuição em média tensão (13,8 kV) do município de Jataí-GO



Por se tratar de um circuito urbano é predominantemente distribuído em comércios e residências, assim a continuidade de fornecimento se faz ainda mais necessário. Porém o circuito não conta com religadores tornando o tempo para reparar o fornecimento após a ocorrência de interrupção ainda maior (GORGEN, 2014).

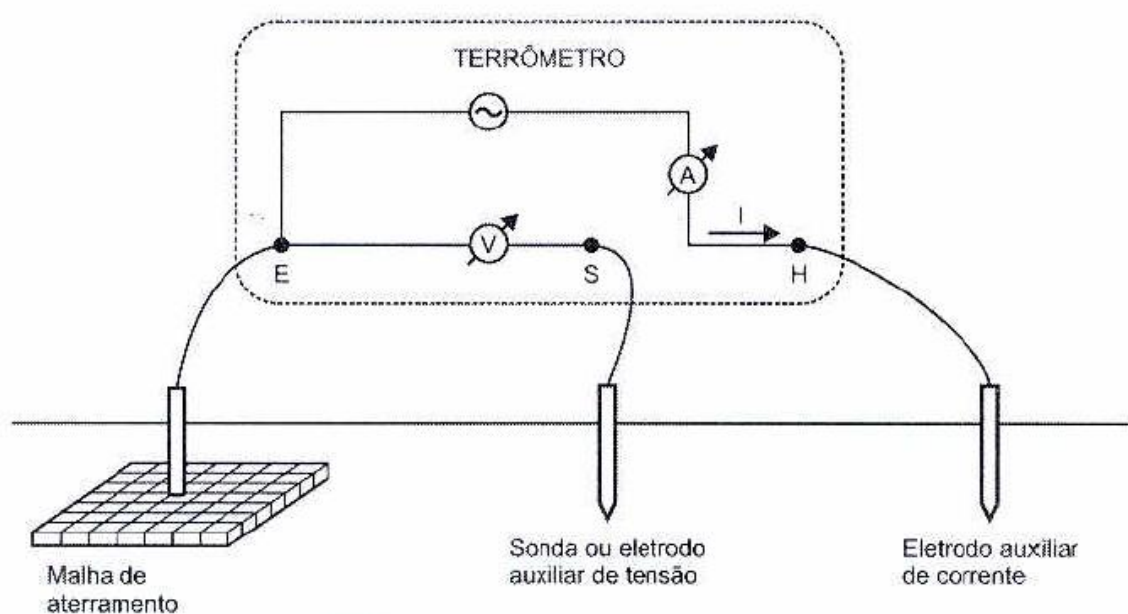
Além da possibilidade de interrupções corriqueiras há a possibilidade da ocorrência de FAIs, sendo assim é necessário a implantação de dispositivos de proteção efetivos e de qualidade para que casas e comércios sejam melhor assistidos e não ocorram acidentes. Infelizmente o alto custo destes dispositivos tornam esses sistemas de proteção inviável, sendo necessário estudos para se rastrear possíveis distúrbios e então utilizar os dispositivos de proteção nos locais adequados.

Por fim, o presente trabalho aferiu medidas de resistência de solo em cinco pontos da cidade de Jataí: Lago Jk, Parque das Brisas, Lago Bom Sucesso, Praça do Olho de água e Parque Ecológico Jose Gonçalves Brito a fim de se rastrear possíveis FAIs em locais com grande fluxo de pessoas.

Para aferir as medidas de resistência de solo, com referência na bibliografia e normas da ABNT, utilizou-se o Terrômetro Digital Modelo Mrt-300 Marca Instrutherm nas condições e indicações descritas na ABNT NBR 15749:2009, com primeira edição feita no dia 13/08/2009 e validação a partir do dia 13-09-2009 de acordo com o Método de Queda de Potencial.

O método consiste em fazer circular uma corrente através da malha de aterramento, sob ensaio por intermédio de um eletrodo auxiliar de corrente e medir a tensão entre a malha de aterramento e o terra remoto por meio do eletrodo auxiliar de potência, conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8 – Representação de como deve ser efetuada a aferição.



Fonte: (ABNT, 2009)

Legenda

I: Corrente de ensaio

S: Borne para o eletrodo auxiliar de potencial

H: Borne para o eletrodo auxiliar de corrente

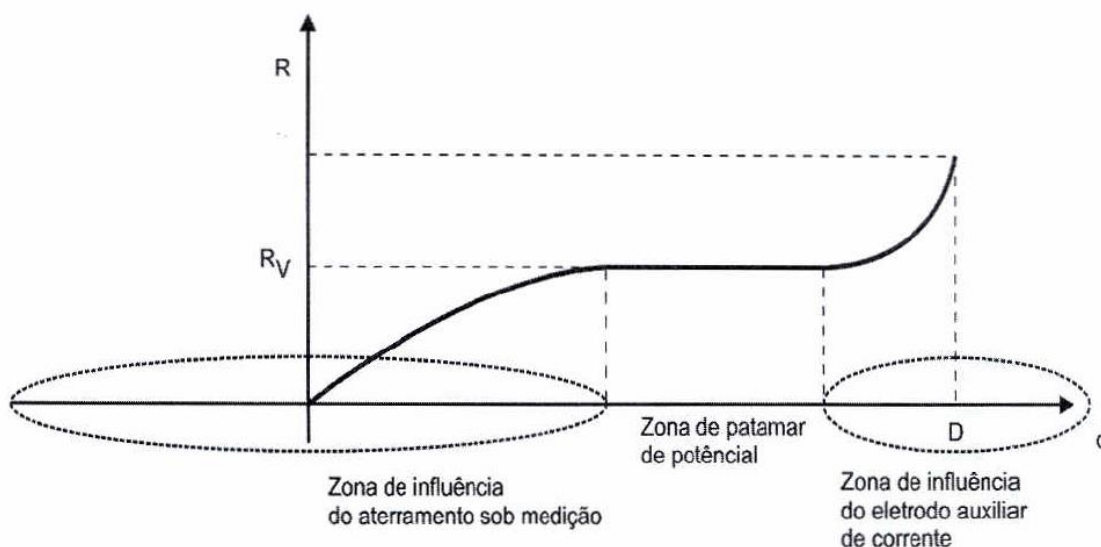
E: Borne para a malha de aterramento sob medição

A NBR 15749 (ABNT, 2009) descreve a forma de utilização do terrômetro para aferir medidas dentro do método de queda de potencial da seguinte maneira: o eletrodo auxiliar de corrente deve ser fixado na haste metálica cravada a uma distância mínima de três vezes a maior largura da malha de aterramento e o eletrodo auxiliar de tensão é fixado em uma haste

metálica cravada no centro, entre a malha de aterramento e a haste conectada ao eletrodo auxiliar de corrente. Para a segunda medida move-se o eletrodo auxiliar de tensão 5% a direita a partir do centro, então para a terceira medida movimentasse 5% para a esquerda a partir do centro.

Estes valores devem ser obedecidos para se efetuar a medida dentro da zona de patamar de potencial para os valores não serem influenciados pela zona de influência do aterramento sob medição ou pela zona de influência do eletrodo auxiliar de corrente, assim como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Zona de patamar para encontrar a resistência real.



Fonte: ABNT, 2009.

Para solos não mistos, se a variação entre as três medidas não for superior a 10% deve-se efetuar uma média, a fim de se obter o valor da resistência de aterramento do sistema.

Encontrando as resistências de solo obteve-se para Lago Jk=132 Ω , Parque das Brisas=1334 Ω , Lago Bom Sucesso=1915 Ω , Praça do Olho de água=407 Ω e Parque Ecológico Jose Gonçalves Brito=1970 Ω e adicionou-se 10 Ω para se ter como base.

São descritas no **Anexo 1** os dados do circuito 1 da rede de distribuição em média tensão (13,8 kV) do município de Jataí-GO e criou-se o código descrito no **Apêndice** no *software* MatLab a fim de encontrar possíveis FAIs.

O método utilizado no *software* MatLab para o cálculo é descrito por Almeida, 2017, para o cálculo de corrente de curto-circuito monofásico. O autor calcula a corrente de curto pela equação (3.2.27) e as impedâncias de sequência positiva, negativa e zero são calculadas de forma matricial. A impedância de falta será substituída pelas medições do terrômetro.

$$I_{cc1\phi-terra} = \frac{3pu}{Z_s^1 + Z_s^2 + Z_s^0 + 3Z_f} \quad (3.2.27)$$

Z_s^1 = impedâncias de sequência positiva

Z_s^2 = impedâncias de sequência negativa

Z_s^0 = impedâncias de sequência zero

Z_f = impedâncias de falta

Para a rede de 143 barras foram feitas 5 medidas de resistência de aterramento e mais uma resistência padrão, totalizando 6 valores de resistência que serão utilizadas em cada barra para o cálculo da corrente de curto fase-terra. Portanto, para cada barra foi calculado seis curtos monofásicos, tendo assim 859 resultados e assim verificou quais curtos-circuitos seriam detectados por relés e quais seriam FAIs.

Para serem detectadas pelos relés de sobrecorrente as correntes devem estar acima de 1,5 pu de acordo com as especificações já pré-definidas. Verificando os resultados observa-se que em todas as barras ocorreriam FAIs com as resistências de solo medidas. Sendo detectada a falta pelos dispositivos de proteção apenas no caso base, com resistência de aterramento adotada de 10 Ohms. A Tabela 1 mostra os valores de correntes de curto-circuito monofásico obtidas em algumas barras.

Tabela 1 - Correntes de curto-circuito monofásico em barras aleatórias.

Barra	Resistência (Ω)	Local	Corrente de curto-circuito Monofásico em pu	Corrente de curto-circuito Monofásico (A)
119	10	Base	31,2295	130,65
128	10	Base	25,0528	104,81
130	10	Base	23,7056	99,18
119	132	Lago JK	1,4873	6,22
128	132	Lago JK	1,4695	6,15
130	132	Lago JK	1,4646	6,13
119	1334	Parque das Brisas	1,4318	5,99
128	1334	Parque das Brisas	1,4302	5,98
130	1334	Parque das Brisas	1,4297	5,98
119	1915	Lago Bom sucesso	0,0997	0,42
128	1915	Lago Bom sucesso	0,0996	0,42
130	1915	Lago Bom sucesso	0,0995	0,42
119	407	Praça do Olho de Água	0,4725	1,98
128	407	Praça do Olho de Água	0,4707	1,97
130	407	Praça do Olho de Água	0,4702	1,97
119	1970	Parque Ecológico José Gonçalves de Brito	0,0969	0,41
128	1970	Parque Ecológico José Gonçalves de Brito	0,0968	0,40
130	1970	Parque Ecológico José Gonçalves de Brito	0,0968	0,40

Fonte:(Autor,2021).

7 CONCLUSÃO

Após a análise dos resultados obtidos pelo *software* Matlab, verifica-se que apenas com a resistência base terra de 10Ω os dispositivos de proteção, relés de sobrecorrente, iriam atuar pois trabalham com correntes acima 1,5 pu e neste caso chegando a 31,2294 pu na barra 119.

Conclui-se que na ocorrência de curtos-circuitos monofásicos terra em todas as barras com medidas de resistência aferidas na cidade de Jataí-GO ocorreriam FAIS, sendo de extrema necessidade o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias por parte da distribuidora ou a adição dos modelos propostos em 2021 para a detecção e localização das FAIs. Sendo o

primeiro método a combinação da transformada de Wavelet discreta (DWT) e o sistema de inteligência Fuzzy (FIS) do tipo Mamdani e Sugeno descrito por (BAYATI et al., 2022) . Como segundo método Maquinas de Vetores de Suporte (SVMs) para a localização descrita por (Bayati et al., 2022).

Com investimento e desenvolvimentos de pesquisas e tecnologias ou a adição dos modelos propostos, o Circuito 1 de Distribuição em média tensão (13,8 kV) do município de Jataí-GO, pertencente ao sistema da distribuidora ENEL Distribuição S.A. – ENEL D, tornaria seguro para FAIs, limitando os possíveis acidente e outros distúrbios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. Notas de aula em Sistema elétrico de potência. Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 24/03/2017. Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR.
- Bayati, N., Balouji, E., Baghaee, H. R., Hajizadeh, A., Soltani, M., Lin, Z., & Savaghebi, M. (2022). Locating high-impedance faults in DC microgrid clusters using support vector machines. *Applied Energy*, 308, 118338. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118338>
- BARROS, Benjamim. Geração, Transmissão, Distribuição e Consumo de Energia Elétrica. 1ª edição – São Paulo: Saraiva Educação S.A, 2014
- Bhatnagar, M., Yadav, A., & Swetapadma, A. (2022). Fuzzy based relaying scheme for high impedance faults in DG integrated distribution system. *Electric Power Systems Research*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107602>
- Costa, F. B., Souza, B. A., Brito, N. S. D., Silva, J. A. C. B., & Santos, W. C. (2015). Real-time detection of transients induced by high-impedance faults based on the boundary wavelet transform. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(6), 5312–5323. <https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2434993>
- Edición, S., & Wildi, T. (2007). *Theodore Wildi Wildi Sexta Edición Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia*. www.pearsoneducacion.net
- Eldin, A. H., Abdallah, E., & Mohamed, N. (n.d.). *Detection of High Impedance Faults in Medium Voltage Distribution Networks Using Discrete Wavelet Transform*.
- Emerenciano, V. (2012). *Desenvolvimento de modelo RNA para Localização de Falhas Fase-Terra em Redes de Distribuição Dispersas e de Grande Extensões*.
- F. Cavaleri, C., O. Mussi, C., R. R. P. Araújo, D., & R. Araujo, L. (2020, August 13). Localização de Falhas de Alta Impedância em Alimentadores de Distribuição Utilizando Busca Exaustiva. *Anais Do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos 2020*. <https://doi.org/10.48011/sbse.v1i1.2171>

- Farias, P. (2013). *Detecção e Classificação de Transitórios em Redes de Distribuição para Identificação de Falhas de Alta Impedância*.
- Filippin, C. G., Neto, R. A. P., Stenzel, J. N., Filho, E. M., Gamboa, L. R. A., & Scarassati, P. C. (n.d.). *Sistemas de Segurança Contra Rompimento de Cabos Condutores em Linhas de Distribuição*. 173–178.
- UMANS, S. D. Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- Frankelene Pinheiro de Souza. (2017). *IDENTIFICAÇÃO DE FALTAS DE ALTA IMPEDÂNCIA POR ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS CICLOESTACIONÁRIAS*.
- KINDERMAM, Geraldo. Geração, Curto-Circuito. 2ª edição – Porto Alegre: Sagra Luzano, 1997
- Ghaderi, A., Mohammadpour, H. A., Ginn, H. L., & Shin, Y. J. (2015). High-impedance fault detection in the distribution network using the time-frequency-based algorithm. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(3), 1260–1268.
<https://doi.org/10.1109/TPWRD.2014.2361207>
- Görge, T. M. (2014). *Análise de sistema elétrico de distribuição Circuito de média tensão 13,8KV - município de Jataí*.
- Milioudis, A. N., Andreou, G. T., & Labridis, D. P. (2012). Enhanced protection scheme for smart grids using power line communications techniques - Part I: Detection of high impedance fault occurrence. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(4), 1621–1630.
<https://doi.org/10.1109/TSG.2012.2208987>
- NBR 15749 Medição de Resistência de Aterramento de Potenciais na Superfície do Solo em Sistemas de Aterramento. (2009). 1–54.
- Paithankar, Y. G. (Yeshwant G.), & Bhide, S. R. (2003). *Fundamentals of power system protection*. Prentice-Hall of India.
- Santos, W. C., Lopes, F. v., Brito, N. S. D., & Souza, B. A. (2017). High-Impedance Fault Identification on Distribution Networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(1), 23–32. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2016.2548942>

- Sheng, Y., & Rovnyak, S. M. (2004). Decision tree-based methodology for high impedance fault detection. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 19(2), 533–536.
<https://doi.org/10.1109/TPWRD.2003.820418>
- Silva, H. (2020). *Análise de uma nova proposta para identificação de faltas de alta impedância em redes aéreas de distribuição*. <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.122>
- Tonelli-Neto, M. S., Decanini, J. G. M. S., Lotufo, A. D. P., & Minussi, C. R. (2017). Fuzzy based methodologies comparison for high-impedance fault diagnosis in radial distribution feeders. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 11(6), 1557–1565.
<https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.1409>
- W. C. Santos, S. (2012). Considerações sobre Diferentes Maneiras de. *IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*.

Anexo 01

Bi: barra inicial;

Bf: barra final;

R1 e R2: resistência de sequência positiva e negativa do trecho, em pu;

X1 e X2: reatância de sequência positiva e negativa do trecho, em pu;

R0: resistência de sequência zero do trecho, em pu;

X0: reatância de sequência zero do trecho, em pu;

Bi	Bf	R1 e R2	X1 e X2
0	1	0,000888	0,000631
1	2	0,000851	0,000604
2	3	0,000934	0,000664
3	4	0,000247	0,000176
3	5	0,000695	0,000494
5	6	0,002595	0,000688
6	7	0,001482	0,000393
7	8	0,000353	0,000093
7	9	0,001721	0,000456
9	10	0,000230	0,000061
9	11	0,001382	0,000366
7	12	0,000933	0,000247
12	13	0,003389	0,000898
13	14	0,001552	0,000411
14	15	0,000625	0,000247
14	16	0,001961	0,000520
16	17	0,001237	0,000328
17	18	0,000620	0,000164
16	19	0,000633	0,000251
19	20	0,000306	0,000081
19	21	0,000608	0,000241
21	22	0,000716	0,000190
21	23	0,001156	0,000457
21	24	0,002726	0,000722
5	25	0,001365	0,000970
25	26	0,001205	0,000319
25	27	0,000394	0,000280

Bi	Bf	R0	X0
0	1	0,002665	0,001893
1	2	0,002552	0,001813
2	3	0,002801	0,001991
3	4	0,000742	0,000528
3	5	0,002086	0,001482
5	6	0,007786	0,002063
6	7	0,004446	0,001178
7	8	0,001058	0,000280
7	9	0,005162	0,001368
9	10	0,000691	0,000183
9	11	0,004147	0,001099
7	12	0,002798	0,000742
12	13	0,010168	0,002695
13	14	0,004655	0,001234
14	15	0,001874	0,000742
14	16	0,005884	0,001559
16	17	0,003711	0,000984
17	18	0,001860	0,000493
16	19	0,001900	0,000752
19	20	0,000917	0,000243
19	21	0,001823	0,000722
21	22	0,002148	0,000569
21	23	0,003467	0,001372
21	24	0,008178	0,002167
5	25	0,004095	0,002910
25	26	0,003614	0,000958
25	27	0,001183	0,000840

27	28	0,000346	0,000092
27	29	0,002097	0,001490
29	30	0,000271	0,000192
30	31	0,002428	0,000643
30	32	0,002355	0,000624
32	33	0,001139	0,000302
32	34	0,003273	0,000867
30	35	0,001062	0,000755
35	36	0,000531	0,000377
36	37	0,000486	0,000192
36	38	0,000833	0,000592
38	39	0,000539	0,000383
39	40	0,000545	0,000144
40	41	0,000146	0,000039
40	42	0,002030	0,000538
39	43	0,001084	0,000770
43	44	0,000148	0,000105
44	45	0,000334	0,000089
44	46	0,000797	0,000566
46	47	0,000323	0,000230
47	48	0,001378	0,000365
47	49	0,002339	0,000620
49	50	0,001986	0,000526
50	51	0,000819	0,000217
50	52	0,002086	0,000553
50	53	0,001240	0,000491
47	54	0,000550	0,000391
54	55	0,000306	0,000081
54	56	0,000526	0,000374
56	57	0,000854	0,000226
56	58	0,000093	0,000066
58	59	0,000582	0,000230
59	60	0,003023	0,001197
60	61	0,000266	0,000105
61	62	0,000482	0,000191
61	63	0,001308	0,000518
58	64	0,002185	0,000865
64	65	0,001048	0,000415
65	66	0,000073	0,000029
65	67	0,001655	0,000655
58	68	0,000996	0,000708

27	28	0,001037	0,000275
27	29	0,006291	0,004470
29	30	0,000812	0,000577
30	31	0,007283	0,001930
30	32	0,007065	0,001872
32	33	0,003416	0,000905
32	34	0,009820	0,002602
30	35	0,003187	0,002265
35	36	0,001594	0,001132
36	37	0,001458	0,000577
36	38	0,002500	0,001777
38	39	0,001618	0,001150
39	40	0,001634	0,000433
40	41	0,000437	0,000116
40	42	0,006090	0,001614
39	43	0,003251	0,002310
43	44	0,000444	0,000315
44	45	0,001003	0,000266
44	46	0,002390	0,001698
46	47	0,000969	0,000689
47	48	0,004135	0,001096
47	49	0,007016	0,001859
49	50	0,005958	0,001579
50	51	0,002456	0,000651
50	52	0,006258	0,001658
50	53	0,003719	0,001472
47	54	0,001650	0,001173
54	55	0,000919	0,000243
54	56	0,001578	0,001121
56	57	0,002562	0,000679
56	58	0,000280	0,000199
58	59	0,001746	0,000691
59	60	0,009070	0,003590
60	61	0,000799	0,000316
61	62	0,001445	0,000572
61	63	0,003924	0,001553
58	64	0,006555	0,002595
64	65	0,003143	0,001244
65	66	0,000219	0,000087
65	67	0,004964	0,001965
58	68	0,002989	0,002124

68	69	0,000360	0,000095
68	70	0,000339	0,000241
70	71	0,000497	0,000197
71	72	0,000964	0,000382
72	73	0,001090	0,000289
72	74	0,001430	0,000566
74	75	0,000990	0,000262
74	76	0,002987	0,000792
70	77	0,000846	0,000601
77	78	0,001322	0,000523
78	79	0,001596	0,000632
79	80	0,000731	0,000194
79	81	0,002538	0,000673
77	82	0,000265	0,000189
82	83	0,001139	0,000809
83	84	0,002775	0,001972
84	85	0,000464	0,000123
84	86	0,000413	0,000293
83	87	0,000316	0,000224
87	88	0,001477	0,001049
88	89	0,001132	0,000448
88	90	0,000308	0,000219
90	91	0,001033	0,000734
91	92	0,001249	0,000331
92	93	0,003293	0,000873
93	94	0,003424	0,000907
93	95	0,000698	0,000185
95	96	0,002150	0,000570
96	97	0,003274	0,001296
97	98	0,001183	0,000468
98	99	0,001740	0,000689
98	100	0,001054	0,000417
100	101	0,001162	0,000460
101	102	0,001478	0,000392
101	103	0,000887	0,000351
103	104	0,000432	0,000171
103	105	0,002157	0,000854
93	106	0,003074	0,000815
91	107	0,002863	0,000759
107	108	0,003111	0,000825
108	109	0,002258	0,000894

68	69	0,001079	0,000286
68	70	0,001018	0,000724
70	71	0,001490	0,000590
71	72	0,002893	0,001145
72	73	0,003269	0,000866
72	74	0,004291	0,001698
74	75	0,002971	0,000787
74	76	0,008961	0,002375
70	77	0,002539	0,001804
77	78	0,003965	0,001569
78	79	0,004788	0,001895
79	80	0,002193	0,000581
79	81	0,007614	0,002018
77	82	0,000796	0,000566
82	83	0,003417	0,002428
83	84	0,008324	0,005915
84	85	0,001391	0,000369
84	86	0,001238	0,000880
83	87	0,000947	0,000673
87	88	0,004430	0,003148
88	89	0,003397	0,001344
88	90	0,000924	0,000656
90	91	0,003100	0,002203
91	92	0,003748	0,000993
92	93	0,009880	0,002618
93	94	0,010271	0,002722
93	95	0,002093	0,000555
95	96	0,006450	0,001709
96	97	0,009822	0,003888
97	98	0,003548	0,001404
98	99	0,005221	0,002067
98	100	0,003163	0,001252
100	101	0,003487	0,001380
101	102	0,004435	0,001175
101	103	0,002660	0,001053
103	104	0,001295	0,000512
103	105	0,006471	0,002561
93	106	0,009222	0,002444
91	107	0,008590	0,002276
107	108	0,009334	0,002474
108	109	0,006774	0,002682

108	110	0,004682	0,001241
110	111	0,001713	0,000678
111	112	0,003312	0,000878
112	113	0,002819	0,000747
112	114	0,003430	0,000909
110	115	0,008632	0,002288
115	116	0,001011	0,000400
116	117	0,001627	0,000431
116	118	0,001347	0,000533
118	119	0,007452	0,001975
119	120	0,006303	0,001670
115	121	0,000599	0,000159
121	122	0,004670	0,001238
122	123	0,000951	0,000252
123	124	0,003425	0,001356
123	125	0,004401	0,001166
125	126	0,000625	0,000247
125	127	0,005603	0,001485
127	128	0,001495	0,000396
128	129	0,000329	0,000087
128	130	0,001372	0,000364
127	131	0,017464	0,004628
127	132	0,001062	0,000282
132	133	0,001446	0,000383
133	134	0,000486	0,000129
133	135	0,005833	0,001546
135	136	0,001786	0,000473
136	137	0,001704	0,000452
137	138	0,001794	0,000475
136	139	0,001698	0,000450
139	140	0,002227	0,000590
140	141	0,002915	0,000773
140	142	0,002738	0,000726
142	143	0,004592	0,001217

108	110	0,014046	0,003722
110	111	0,005140	0,002035
111	112	0,009937	0,002633
112	113	0,008458	0,002241
112	114	0,010290	0,002727
110	115	0,025896	0,006863
115	116	0,003034	0,001201
116	117	0,004882	0,001294
116	118	0,004041	0,001599
118	119	0,022355	0,005924
119	120	0,018908	0,005011
115	121	0,001796	0,000476
121	122	0,014009	0,003713
122	123	0,002853	0,000756
123	124	0,010275	0,004067
123	125	0,013204	0,003499
125	126	0,001875	0,000742
125	127	0,016808	0,004454
127	128	0,004486	0,001189
128	129	0,000987	0,000261
128	130	0,004117	0,001091
127	131	0,052392	0,013885
127	132	0,003187	0,000845
132	133	0,004339	0,001150
133	134	0,001457	0,000386
133	135	0,017500	0,004638
135	136	0,005357	0,001420
136	137	0,005113	0,001355
137	138	0,005382	0,001426
136	139	0,005093	0,001350
139	140	0,006682	0,001771
140	141	0,008745	0,002318
140	142	0,008214	0,002177
142	143	0,013777	0,003651

Apêndice

Código no software Matlab

```

clear
clc
zf=0;
j=sqrt(-1);
Vb = 13.8e3;
Sb = 1e6;
Ib = Sb/(sqrt(3)*Vb);
Zb = (Vb^2)/Sb;

%encontrando os valores da YBUS+
Y=zeros(143);

Y(1,2)=-1/(0.000851+0.000604*j);
Y(2,1)=-1/(0.000851+0.000604*j);
Y(2,3)=-1/(0.000934+0.000664*j);
Y(3,2)=-1/(0.000934+0.000664*j);
Y(3,4)=-1/(0.000247+0.000176*j);
Y(4,3)=-1/(0.000247+0.000176*j);
Y(3,5)=-1/(0.000695+0.000494*j);
Y(5,3)=-1/(0.000695+0.000494*j);
Y(5,6)=-1/(0.002595+0.000688*j);
Y(6,5)=-1/(0.002595+0.000688*j);
Y(6,7)=-1/(0.001482+0.000393*j);
Y(7,6)=-1/(0.001482+0.000393*j);
Y(7,8)=-1/(0.000353+0.000093*j);
Y(8,7)=-1/(0.000353+0.000093*j);
Y(7,9)=-1/(0.001721+0.000456*j);
Y(9,7)=-1/(0.001721+0.000456*j);
Y(9,10)=-1/(0.000230+0.000061*j);
Y(10,9)=-1/(0.000230+0.000061*j);
Y(9,11)=-1/(0.001382+0.000366*j);

```

```

Y(11,9)=-1/(0.001382+0.000366*j);
Y(7,12)=-1/(0.000933+0.000247*j);
Y(12,7)=-1/(0.000933+0.000247*j);
Y(12,13)=-1/(0.003389+0.000898*j);
Y(13,12)=-1/(0.003389+0.000898*j);
Y(13,14)=-1/(0.001552+0.000411*j);
Y(14,13)=-1/(0.001552+0.000411*j);
Y(14,15)=-1/(0.000625+0.000247*j);
Y(15,14)=-1/(0.000625+0.000247*j);
Y(14,16)=-1/(0.001961+0.000520*j);
Y(16,14)=-1/(0.001961+0.000520*j);
Y(16,17)=-1/(0.001237+0.000328*j);
Y(17,16)=-1/(0.001237+0.000328*j);
Y(17,18)=-1/(0.000620+0.000164*j);
Y(18,17)=-1/(0.000620+0.000164*j);
Y(16,19)=-1/(0.000633+0.000251*j);
Y(19,16)=-1/(0.000633+0.000251*j);
Y(19,20)=-1/(0.000306+0.000081*j);
Y(20,19)=-1/(0.000306+0.000081*j);
Y(19,21)=-1/(0.000608+0.000241*j);
Y(21,19)=-1/(0.000608+0.000241*j);
Y(21,22)=-1/(0.000716+0.000190*j);
Y(22,21)=-1/(0.000716+0.000190*j);
Y(21,23)=-1/(0.001156+0.000457*j);
Y(23,21)=-1/(0.001156+0.000457*j);
Y(21,24)=-1/(0.002726+0.000722*j);
Y(24,21)=-1/(0.002726+0.000722*j);
Y(5,25)=-1/(0.001365+0.000970*j);
Y(25,5)=-1/(0.001365+0.000970*j);
Y(25,26)=-1/(0.001205+0.000319*j);
Y(26,25)=-1/(0.001205+0.000319*j);
Y(25,27)=-1/(0.000394+0.000280*j);
Y(27,25)=-1/(0.000394+0.000280*j);
Y(27,28)=-1/(0.000346+0.000092*j);
Y(28,27)=-1/(0.000346+0.000092*j);
Y(27,29)=-1/(0.002097+0.001490*j);
Y(29,27)=-1/(0.002097+0.001490*j);

```

```

Y(29,30)=-1/(0.000271+0.000192*j);
Y(30,29)=-1/(0.000271+0.000192*j);
Y(30,31)=-1/(0.002428+0.000643*j);
Y(31,30)=-1/(0.002428+0.000643*j);
Y(30,32)=-1/(0.002355+0.000624*j);
Y(32,30)=-1/(0.002355+0.000624*j);
Y(32,33)=-1/(0.001139+0.000302*j);
Y(33,32)=-1/(0.001139+0.000302*j);
Y(32,34)=-1/(0.003273+0.000867*j);
Y(34,32)=-1/(0.003273+0.000867*j);
Y(30,35)=-1/(0.001062+0.000755*j);
Y(35,30)=-1/(0.001062+0.000755*j);
Y(35,36)=-1/(0.000531+0.000377*j);
Y(36,35)=-1/(0.000531+0.000377*j);
Y(36,37)=-1/(0.000486+0.000192*j);
Y(37,36)=-1/(0.000486+0.000192*j);
Y(36,38)=-1/(0.000833+0.000592*j);
Y(38,36)=-1/(0.000833+0.000592*j);
Y(38,39)=-1/(0.000539+0.000383*j);
Y(39,38)=-1/(0.000539+0.000383*j);
Y(39,40)=-1/(0.000545+0.000144*j);
Y(40,39)=-1/(0.000545+0.000144*j);
Y(40,41)=-1/(0.000146+0.000039*j);
Y(41,40)=-1/(0.000146+0.000039*j);
Y(40,42)=-1/(0.002030+0.000538*j);
Y(42,40)=-1/(0.002030+0.000538*j);
Y(39,43)=-1/(0.001084+0.000770*j);
Y(43,39)=-1/(0.001084+0.000770*j);
Y(43,44)=-1/(0.000148+0.000105*j);
Y(44,43)=-1/(0.000148+0.000105*j);
Y(44,45)=-1/(0.000334+0.000089*j);
Y(45,44)=-1/(0.000334+0.000089*j);
Y(44,46)=-1/(0.000797+0.000566*j);
Y(46,44)=-1/(0.000797+0.000566*j);
Y(46,47)=-1/(0.000323+0.000230*j);
Y(47,46)=-1/(0.000323+0.000230*j);
Y(47,48)=-1/(0.001378+0.000365*j);

```

```

Y(48,47)=-1/(0.001378+0.000365*j);
Y(47,49)=-1/(0.002339+0.000620*j);
Y(49,47)=-1/(0.002339+0.000620*j);
Y(49,50)=-1/(0.001986+0.000526*j);
Y(50,49)=-1/(0.001986+0.000526*j);
Y(50,51)=-1/(0.000819+0.000217*j);
Y(51,50)=-1/(0.000819+0.000217*j);
Y(50,52)=-1/(0.002086+0.000553*j);
Y(50,52)=-1/(0.002086+0.000553*j);
Y(50,53)=-1/(0.001240+0.000491*j);
Y(53,50)=-1/(0.001240+0.000491*j);
Y(47,54)=-1/(0.000550+0.000391*j);
Y(54,47)=-1/(0.000550+0.000391*j);
Y(54,55)=-1/(0.000306+0.000081*j);
Y(55,54)=-1/(0.000306+0.000081*j);
Y(54,56)=-1/(0.000526+0.000374*j);
Y(56,54)=-1/(0.000526+0.000374*j);
Y(56,57)=-1/(0.000854+0.000226*j);
Y(57,56)=-1/(0.000854+0.000226*j);
Y(56,58)=-1/(0.000093+0.000066*j);
Y(58,56)=-1/(0.000093+0.000066*j);
Y(58,59)=-1/(0.000582+0.000230*j);
Y(59,58)=-1/(0.000582+0.000230*j);
Y(59,60)=-1/(0.003023+0.001197*j);
Y(60,59)=-1/(0.003023+0.001197*j);
Y(60,61)=-1/(0.000266+0.000105*j);
Y(61,60)=-1/(0.000266+0.000105*j);
Y(61,62)=-1/(0.000482+0.000191*j);
Y(62,61)=-1/(0.000482+0.000191*j);
Y(61,63)=-1/(0.001308+0.000518*j);
Y(63,61)=-1/(0.001308+0.000518*j);
Y(58,64)=-1/(0.002185+0.000865*j);
Y(64,58)=-1/(0.002185+0.000865*j);
Y(64,65)=-1/(0.001048+0.000415*j);
Y(65,64)=-1/(0.001048+0.000415*j);
Y(65,66)=-1/(0.000073+0.000029*j);
Y(66,65)=-1/(0.000073+0.000029*j);

```

```

Y(65,67)=-1/(0.001655+0.000655*j);
Y(67,65)=-1/(0.001655+0.000655*j);
Y(58,68)=-1/(0.000996+0.000708*j);
Y(68,58)=-1/(0.000996+0.000708*j);
Y(68,69)=-1/(0.000360+0.000095*j);
Y(69,68)=-1/(0.000360+0.000095*j);
Y(68,70)=-1/(0.000339+0.000241*j);
Y(70,69)=-1/(0.000339+0.000241*j);
Y(70,71)=-1/(0.000497+0.000197*j);
Y(71,70)=-1/(0.000497+0.000197*j);
Y(71,72)=-1/(0.000964+0.000382*j);
Y(72,71)=-1/(0.000964+0.000382*j);
Y(72,73)=-1/(0.001090+0.000289*j);
Y(73,72)=-1/(0.001090+0.000289*j);
Y(72,74)=-1/(0.001430+0.000566*j);
Y(74,72)=-1/(0.001430+0.000566*j);
Y(74,75)=-1/(0.000990+0.000262*j);
Y(75,74)=-1/(0.000990+0.000262*j);
Y(74,76)=-1/(0.002987+0.000792*j);
Y(76,74)=-1/(0.002987+0.000792*j);
Y(70,77)=-1/(0.000846+0.000601*j);
Y(77,70)=-1/(0.000846+0.000601*j);
Y(77,78)=-1/(0.001322+0.000523*j);
Y(78,77)=-1/(0.001322+0.000523*j);
Y(78,79)=-1/(0.001596+0.000632*j);
Y(79,78)=-1/(0.001596+0.000632*j);
Y(79,80)=-1/(0.000731+0.000194*j);
Y(80,79)=-1/(0.000731+0.000194*j);
Y(79,81)=-1/(0.002538+0.000673*j);
Y(81,79)=-1/(0.002538+0.000673*j);
Y(77,82)=-1/(0.000265+0.000189*j);
Y(82,77)=-1/(0.000265+0.000189*j);
Y(82,83)=-1/(0.001139+0.000809*j);
Y(83,82)=-1/(0.001139+0.000809*j);
Y(83,84)=-1/(0.002775+0.001972*j);
Y(84,83)=-1/(0.002775+0.001972*j);
Y(84,85)=-1/(0.000464+0.000123*j);

```

```

Y(85,84)=-1/(0.000464+0.000123*j);
Y(84,86)=-1/(0.000413+0.000293*j);
Y(86,84)=-1/(0.000413+0.000293*j);
Y(83,87)=-1/(0.000316+0.000224*j);
Y(87,83)=-1/(0.000316+0.000224*j);
Y(87,88)=-1/(0.001477+0.001049*j);
Y(88,87)=-1/(0.001477+0.001049*j);
Y(88,89)=-1/(0.001132+0.000448*j);
Y(89,88)=-1/(0.001132+0.000448*j);
Y(88,90)=-1/(0.000308+0.000219*j);
Y(90,88)=-1/(0.000308+0.000219*j);
Y(90,91)=-1/(0.001033+0.000734*j);
Y(91,90)=-1/(0.001033+0.000734*j);
Y(91,92)=-1/(0.001249+0.000331*j);
Y(92,91)=-1/(0.001249+0.000331*j);
Y(92,93)=-1/(0.003293+0.000873*j);
Y(93,92)=-1/(0.003293+0.000873*j);
Y(93,94)=-1/(0.003424+0.000907*j);
Y(94,93)=-1/(0.003424+0.000907*j);
Y(93,95)=-1/(0.000698+0.000185*j);
Y(95,93)=-1/(0.000698+0.000185*j);
Y(95,96)=-1/(0.002150+0.000570*j);
Y(96,95)=-1/(0.002150+0.000570*j);
Y(96,97)=-1/(0.003274+0.001296*j);
Y(96,96)=-1/(0.003274+0.001296*j);
Y(97,98)=-1/(0.001183+0.000468*j);
Y(98,97)=-1/(0.001183+0.000468*j);
Y(98,99)=-1/(0.001740+0.000689*j);
Y(98,98)=-1/(0.001740+0.000689*j);
Y(98,100)=-1/(0.001054+0.000417*j);
Y(100,98)=-1/(0.001054+0.000417*j);
Y(100,101)=-1/(0.001162+0.000460*j);
Y(101,100)=-1/(0.001162+0.000460*j);
Y(101,102)=-1/(0.001478+0.000392*j);
Y(102,101)=-1/(0.001478+0.000392*j);
Y(101,103)=-1/(0.000887+0.000351*j);
Y(103,101)=-1/(0.000887+0.000351*j);

```

```

Y(103,104)=-1/(0.000432+0.000171*j);
Y(104,103)=-1/(0.000432+0.000171*j);
Y(103,105)=-1/(0.002157+0.000854*j);
Y(105,103)=-1/(0.002157+0.000854*j);
Y(93,106)=-1/(0.003074+ 0.000815*j);
Y(106,93)=-1/(0.003074+ 0.000815*j);
Y(91,107)=-1/(0.002863+ 0.000759*j);
Y(107,91)=-1/(0.002863+ 0.000759*j);
Y(107,108)=-1/(0.002258+0.000894*j);
Y(108,107)=-1/(0.002258+0.000894*j);
Y(108,110)=-1/(0.004682+0.001241*j);
Y(110,108)=-1/(0.004682+0.001241*j);
Y(110,111)=-1/(0.001713+0.000678*j);
Y(111,110)=-1/(0.001713+0.000678*j);
Y(111,112)=-1/(0.003312+0.000878*j);
Y(112,111)=-1/(0.003312+0.000878*j);
Y(112,113)=-1/(0.002819+0.000747*j);
Y(113,112)=-1/(0.002819+0.000747*j);
Y(112,114)=-1/(0.003430+0.000909*j);
Y(114,112)=-1/(0.003430+0.000909*j);
Y(110,115)=-1/(0.008632+0.002288*j);
Y(115,110)=-1/(0.008632+0.002288*j);
Y(115,116)=-1/(0.001011+0.000400*j);
Y(116,115)=-1/(0.001011+0.000400*j);
Y(116,117)=-1/(0.001627+0.000431*j);
Y(117,116)=-1/(0.001627+0.000431*j);
Y(116,118)=-1/(0.001347+0.000533*j);
Y(118,116)=-1/(0.001347+0.000533*j);
Y(118,119)=-1/(0.007452+0.001975*j);
Y(119,118)=-1/(0.007452+0.001975*j);
Y(119,120)=-1/(0.006303+0.001670*j);
Y(120,119)=-1/(0.006303+0.001670*j);
Y(115,121)=-1/(0.000599+0.000159*j);
Y(121,115)=-1/(0.000599+0.000159*j);
Y(121,122)=-1/(0.004670+0.001238*j);
Y(122,121)=-1/(0.004670+0.001238*j);
Y(122,123)=-1/(0.000951+0.000252*j);

```

```

Y(123,122)=-1/(0.000951+0.000252*j);
Y(123,124)=-1/(0.003425+0.001356*j);
Y(124,123)=-1/(0.003425+0.001356*j);
Y(123,125)=-1/(0.004401+0.001166*j);
Y(125,123)=-1/(0.004401+0.001166*j);
Y(125,126)=-1/(0.000625+0.000247*j);
Y(126,125)=-1/(0.000625+0.000247*j);
Y(125,127)=-1/(0.005603+0.001485*j);
Y(127,125)=-1/(0.005603+0.001485*j);
Y(127,128)=-1/(0.001495+0.000396*j);
Y(128,127)=-1/(0.001495+0.000396*j);
Y(128,129)=-1/(0.000329+0.000087*j);
Y(129,128)=-1/(0.000329+0.000087*j);
Y(128,130)=-1/(0.001372+0.000364*j);
Y(130,128)=-1/(0.001372+0.000364*j);
Y(127,131)=-1/(0.017464+0.004628*j);
Y(131,127)=-1/(0.017464+0.004628*j);
Y(127,132)=-1/(0.001062+0.000282*j);
Y(132,127)=-1/(0.001062+0.000282*j);
Y(132,133)=-1/(0.001446+0.000383*j);
Y(133,132)=-1/(0.001446+0.000383*j);
Y(133,134)=-1/(0.000486+0.000129*j);
Y(134,133)=-1/(0.000486+0.000129*j);
Y(133,135)=-1/(0.005833+0.001546*j);
Y(135,133)=-1/(0.005833+0.001546*j);
Y(135,136)=-1/(0.001786+0.000473*j);
Y(136,135)=-1/(0.001786+0.000473*j);
Y(136,137)=-1/(0.001704+0.000452*j);
Y(137,136)=-1/(0.001704+0.000452*j);
Y(137,138)=-1/(0.001794+0.000475*j);
Y(138,137)=-1/(0.001794+0.000475*j);
Y(136,139)=-1/(0.001698+0.000450*j);
Y(139,136)=-1/(0.001698+0.000450*j);
Y(139,140)=-1/(0.002227+0.000590*j);
Y(140,139)=-1/(0.002227+0.000590*j);
Y(140,141)=-1/(0.002915+0.000773*j);
Y(141,140)=-1/(0.002915+0.000773*j);

```

```

Y(140,142)=-1/(0.002738+0.000726*j);
Y(142,140)=-1/(0.002738+0.000726*j);
Y(142,143)=-1/(0.004592+0.001217*j);
Y(143,142)=-1/(0.004592+0.001217*j);

```

```

%encontrando os valores da diagonal principal YBUS

```

```

Y(1,1)=1/(0.001739+0.001235*j);
Y(2,2)=1/(0.001785+0.001268*j);
Y(3,3)=1/(0.001876+0.001334*j);
Y(4,4)=1/(0.000247+0.000176*j);
Y(5,5)=1/(0.004655+0.002152*j);
Y(6,6)=1/(0.004077+0.001081*j);
Y(7,7)=1/(0.004489+0.001189*j);
Y(8,8)=1/(0.000353+0.000093*j);
Y(9,9)=1/(0.003333+0.000883*j);
Y(10,10)=1/(0.000230+0.000061*j);
Y(11,11)=1/(0.001382+0.000366*j);
Y(12,12)=1/(0.004322+0.001145*j);
Y(13,13)=1/(0.004941+0.001309*j);
Y(14,14)=1/(0.004138+0.001178*j);
Y(15,15)=1/(0.000625+0.000247*j);
Y(16,16)=1/(0.003831+0.001099*j);
Y(17,17)=1/(0.001857+0.000492*j);
Y(18,18)=1/(0.000620+0.000164*j);
Y(19,19)=1/(0.001547+0.000573*j);
Y(20,20)=1/(0.000917+0.000081*j);
Y(21,21)=1/(0.015616+0.001610*j);
Y(22,22)=1/(0.000716+0.000190*j);
Y(23,23)=1/(0.001156+0.000457*j);
Y(24,24)=1/(0.002726+0.000722*j);
Y(25,25)=1/(0.002964+0.001569*j);
Y(26,26)=1/(0.001205+0.000319*j);
Y(27,27)=1/(0.002837+0.001862*j);
Y(28,28)=1/(0.000346+0.000092*j);
Y(29,29)=1/(0.002368+0.001682*j);
Y(30,30)=1/(0.006116+0.002214*j);
Y(31,31)=1/(0.002428+0.000643*j);

```

```

Y(32,32)=1/(0.006767+0.001793*j);
Y(33,33)=1/(0.001139+0.000302*j);
Y(34,34)=1/(0.003273+0.000867*j);
Y(35,35)=1/(0.001593+0.001132*j);
Y(36,36)=1/(0.001850+0.001161*j);
Y(37,37)=1/(0.000486+0.000192*j);
Y(38,38)=1/(0.001372+0.000975*j);
Y(39,39)=1/(0.002168+0.001297*j);
Y(40,40)=1/(0.002721+0.000721*j);
Y(41,41)=1/(0.000146+0.000039*j);
Y(42,42)=1/(0.002030+0.000538*j);
Y(43,43)=1/(0.001232+0.000875*j);
Y(44,44)=1/(0.001279+0.000760*j);
Y(45,45)=1/(0.000334+0.000089*j);
Y(46,46)=1/(0.001120+0.000796*j);
Y(47,47)=1/(0.004040+0.001215*j);
Y(48,48)=1/(0.001378+0.000365*j);
Y(49,49)=1/(0.004325+0.001146*j);
Y(50,50)=1/(0.006131+0.001787*j);
Y(51,51)=1/(0.000819+0.000217*j);
Y(52,52)=1/(0.002086+0.000553*j);
Y(53,53)=1/(0.001240+0.000491*j);
Y(54,54)=1/(0.001382+0.000846*j);
Y(55,55)=1/(0.000306+0.000081*j);
Y(56,56)=1/(0.001473+0.000666*j);
Y(57,57)=1/(0.000854+0.000226*j);
Y(58,58)=1/(0.003856+0.001004*j);
Y(59,59)=1/(0.003605+0.001427*j);
Y(60,60)=1/(0.003289+0.001302*j);
Y(61,61)=1/(0.002056+0.000814*j);
Y(62,62)=1/(0.000482+0.000191*j);
Y(63,63)=1/(0.001308+0.000518*j);
Y(64,64)=1/(0.003233+0.001280*j);
Y(65,65)=1/(0.001121+0.001099*j);
Y(66,66)=1/(0.000073+0.000029*j);
Y(67,67)=1/(0.001655+0.000655*j);
Y(68,68)=1/(0.001695+0.001044*j);

```

$Y(69,69)=1/(0.000360+0.000095*j);$
 $Y(70,70)=1/(0.000836+0.000438*j);$
 $Y(71,71)=1/(0.001461+0.000579*j);$
 $Y(72,72)=1/(0.003484+0.001237*j);$
 $Y(73,73)=1/(0.001090+0.000289*j);$
 $Y(74,74)=1/(0.005407+0.001620*j);$
 $Y(75,75)=1/(0.000990+0.000262*j);$
 $Y(76,76)=1/(0.002987+0.000792*j);$
 $Y(77,77)=1/(0.002168+0.001124*j);$
 $Y(78,78)=1/(0.002918+0.001155*j);$
 $Y(79,79)=1/(0.004865+0.001499*j);$
 $Y(80,80)=1/(0.000731+0.000194*j);$
 $Y(81,81)=1/(0.002538+0.000673*j);$
 $Y(82,82)=1/(0.001404+0.000998*j);$
 $Y(83,83)=1/(0.003914+0.003005*j);$
 $Y(84,84)=1/(0.003652+0.002388*j);$
 $Y(85,85)=1/(0.000464+0.000123*j);$
 $Y(86,86)=1/(0.000413+0.000293*j);$
 $Y(87,87)=1/(0.001793+0.001273*j);$
 $Y(88,88)=1/(0.002917+0.001716*j);$
 $Y(89,89)=1/(0.001132+0.000448*j);$
 $Y(90,90)=1/(0.001341+0.000953*j);$
 $Y(91,91)=1/(0.005145+0.001065*j);$
 $Y(92,92)=1/(0.004542+0.001204*j);$
 $Y(93,93)=1/(0.010489+0.002780*j);$
 $Y(94,94)=1/(0.003424+0.000907*j);$
 $Y(95,95)=1/(0.002848+0.000755*j);$
 $Y(96,96)=1/(0.005424+0.001866*j);$
 $Y(97,97)=1/(0.004457+0.001764*j);$
 $Y(98,98)=1/(0.003977+0.001574*j);$
 $Y(99,99)=1/(0.001740+0.000689*j);$
 $Y(100,100)=1/(0.002216+0.000877*j);$
 $Y(101,101)=1/(0.003527+0.001203*j);$
 $Y(102,102)=1/(0.001478+0.000392*j);$
 $Y(103,103)=1/(0.003476+0.001376*j);$
 $Y(104,104)=1/(0.000432+0.000171*j);$
 $Y(105,105)=1/(0.002157+0.000854*j);$

$Y(106,106)=1/(0.003074+0.000815*j);$
 $Y(107,107)=1/(0.005974+0.001584*j);$
 $Y(108,108)=1/(0.010051+0.002960*j);$
 $Y(109,109)=1/(0.002258+0.000894*j);$
 $Y(110,110)=1/(0.006395+0.001919*j);$
 $Y(111,111)=1/(0.005025+0.001556*j);$
 $Y(112,112)=1/(0.009561+0.001625*j);$
 $Y(113,113)=1/(0.002819+0.000747*j);$
 $Y(114,114)=1/(0.003430+0.000909*j);$
 $Y(115,115)=1/(0.009643+0.002847*j);$
 $Y(116,116)=1/(0.003985+0.001364*j);$
 $Y(117,117)=1/(0.001627+0.000431*j);$
 $Y(118,118)=1/(0.008799+0.002508*j);$
 $Y(119,119)=1/(0.013755+0.003645*j);$
 $Y(120,120)=1/(0.006303+0.001670*j);$
 $Y(121,121)=1/(0.005269+0.001397*j);$
 $Y(122,122)=1/(0.005621+0.001490*j);$
 $Y(123,123)=1/(0.008777+0.002774*j);$
 $Y(124,124)=1/(0.003425+0.001356*j);$
 $Y(125,125)=1/(0.010629+0.002898*j);$
 $Y(126,126)=1/(0.000625+0.000247*j);$
 $Y(127,127)=1/(0.007098+0.006791*j);$
 $Y(128,128)=1/(0.003196+0.000847*j);$
 $Y(129,129)=1/(0.000329+0.000087*j);$
 $Y(130,130)=1/(0.001372+0.000364*j);$
 $Y(131,131)=1/(0.017464+0.004628*j);$
 $Y(132,132)=1/(0.002508+0.000665*j);$
 $Y(133,133)=1/(0.007765+0.002058*j);$
 $Y(134,134)=1/(0.000486+0.000129*j);$
 $Y(135,135)=1/(0.007619+0.002019*j);$
 $Y(136,136)=1/(0.005188+0.000925*j);$
 $Y(137,137)=1/(0.003498+0.000927*j);$
 $Y(138,138)=1/(0.001794+0.000475*j);$
 $Y(139,139)=1/(0.003925+0.001040*j);$
 $Y(140,140)=1/(0.007880+0.001363*j);$
 $Y(141,141)=1/(0.002915+0.000773*j);$
 $Y(142,142)=1/(0.007330+0.001943*j);$

```
Y(143,143)=1/(0.004592+0.001217*j);
```

```
%encontrando os valores da YBUS0 ESCRITA COMO X
```

```
X=zeros(143);
```

```
X(1,2)=-1/(0.002552+0.001813*j);
```

```
X(2,1)=-1/(0.002552+0.001813*j);
```

```
X(2,3)=-1/(0.002801+0.001991*j);
```

```
X(3,2)=-1/(0.002801+0.001991*j);
```

```
X(3,4)=-1/(0.000742+0.000528*j);
```

```
X(4,3)=-1/(0.000742+0.000528*j);
```

```
X(3,5)=-1/(0.002086+0.001482*j);
```

```
X(5,3)=-1/(0.002086+0.001482*j);
```

```
X(5,6)=-1/(0.007786+0.002063*j);
```

```
X(6,5)=-1/(0.007786+0.002063*j);
```

```
X(6,7)=-1/(0.004446+0.001178*j);
```

```
X(7,6)=-1/(0.004446+0.001178*j);
```

```
X(7,8)=-1/(0.001058+0.000280*j);
```

```
X(8,7)=-1/(0.001058+0.000280*j);
```

```
X(7,9)=-1/(0.005162+0.001368*j);
```

```
X(9,7)=-1/(0.005162+0.001368*j);
```

```
X(9,10)=-1/(0.000691+0.000183*j);
```

```
X(10,9)=-1/(0.000691+0.000183*j);
```

```
X(9,11)=-1/(0.004147+0.001099*j);
```

```
X(11,9)=-1/(0.004147+0.001099*j);
```

```
X(7,12)=-1/(0.002798+0.000742*j);
```

```
X(12,7)=-1/(0.002798+0.000742*j);
```

```
X(12,13)=-1/(0.010168+0.002695*j);
```

```
X(13,12)=-1/(0.010168+0.002695*j);
```

```
X(13,14)=-1/(0.004655+0.001234*j);
```

```
X(14,13)=-1/(0.004655+0.001234*j);
```

```
X(14,15)=-1/(0.001874+0.000742*j);
```

```
X(15,14)=-1/(0.001874+0.000742*j);
```

```
X(14,16)=-1/(0.005884+0.001559*j);
```

```
X(16,14)=-1/(0.005884+0.001559*j);
```

```
X(16,17)=-1/(0.003711+0.000984*j);
```

```
X(17,16)=-1/(0.003711+0.000984*j);
```

```

X(17,18)=-1/(0.001860+0.000493*j);
X(18,17)=-1/(0.001860+0.000493*j);
X(16,19)=-1/(0.001900+0.000752*j);
X(19,16)=-1/(0.001900+0.000752*j);
X(19,20)=-1/(0.000917+0.000243*j);
X(20,19)=-1/(0.000917+0.000243*j);
X(19,21)=-1/(0.001823+0.000722*j);
X(21,19)=-1/(0.001823+0.000722*j);
X(21,22)=-1/(0.002148+0.000569*j);
X(22,21)=-1/(0.002148+0.000569*j);
X(21,23)=-1/(0.003467+0.001372*j);
X(23,21)=-1/(0.003467+0.001372*j);
X(21,24)=-1/(0.008178+0.002167*j);
X(24,21)=-1/(0.008178+0.002167*j);
X(5,25)=-1/(0.004095+0.002910*j);
X(25,5)=-1/(0.004095+0.002910*j);
X(25,26)=-1/(0.003614+0.000958*j);
X(26,25)=-1/(0.003614+0.000958*j);
X(25,27)=-1/(0.001183+0.000840*j);
X(27,25)=-1/(0.001183+0.000840*j);
X(27,28)=-1/(0.001037+0.000275*j);
X(28,27)=-1/(0.001037+0.000275*j);
X(27,29)=-1/(0.006291+0.004470*j);
X(29,27)=-1/(0.006291+0.004470*j);
X(29,30)=-1/(0.000812+0.000577*j);
X(30,29)=-1/(0.000812+0.000577*j);
X(30,31)=-1/(0.007283+0.001930*j);
X(31,30)=-1/(0.007283+0.001930*j);
X(30,32)=-1/(0.007065+0.001872*j);
X(32,30)=-1/(0.007065+0.001872*j);
X(32,33)=-1/(0.003416+0.000905*j);
X(33,32)=-1/(0.003416+0.000905*j);
X(32,34)=-1/(0.009820+0.002602*j);
X(34,32)=-1/(0.009820+0.002602*j);
X(30,35)=-1/(0.003187+0.002265*j);
X(35,30)=-1/(0.003187+0.002265*j);
X(35,36)=-1/(0.001594+0.001132*j);

```

```

X(36,35)=-1/(0.001594+0.001132*j);
X(36,37)=-1/(0.001458+0.000577*j);
X(37,36)=-1/(0.001458+0.000577*j);
X(36,38)=-1/(0.002500+0.001777*j);
X(38,36)=-1/(0.002500+0.001777*j);
X(38,39)=-1/(0.001618+0.001150*j);
X(39,38)=-1/(0.001618+0.001150*j);
X(39,40)=-1/(0.001634+0.000433*j);
X(40,39)=-1/(0.001634+0.000433*j);
X(40,41)=-1/(0.000437+0.000116*j);
X(41,40)=-1/(0.000437+0.000116*j);
X(40,42)=-1/(0.006090+0.001614*j);
X(42,40)=-1/(0.006090+0.001614*j);
X(39,43)=-1/(0.003251+0.002310*j);
X(43,39)=-1/(0.003251+0.002310*j);
X(43,44)=-1/(0.000444+0.000315*j);
X(44,43)=-1/(0.000444+0.000315*j);
X(44,45)=-1/(0.001003+0.000266*j);
X(45,44)=-1/(0.001003+0.000266*j);
X(44,46)=-1/(0.002390+0.001698*j);
X(46,44)=-1/(0.002390+0.001698*j);
X(46,47)=-1/(0.000969+0.000689*j);
X(47,46)=-1/(0.000969+0.000689*j);
X(47,48)=-1/(0.004135+0.001096*j);
X(48,47)=-1/(0.004135+0.001096*j);
X(47,49)=-1/(0.007016+0.001859*j);
X(49,47)=-1/(0.007016+0.001859*j);
X(49,50)=-1/(0.005958+0.001579*j);
X(50,49)=-1/(0.005958+0.001579*j);
X(50,51)=-1/(0.002456+0.000651*j);
X(51,50)=-1/(0.002456+0.000651*j);
X(50,52)=-1/(0.006258+0.001658*j);
X(52,50)=-1/(0.006258+0.001658*j);
X(50,53)=-1/(0.003719+0.001472*j);
X(53,50)=-1/(0.003719+0.001472*j);
X(47,54)=-1/(0.001650+0.001173*j);
X(54,47)=-1/(0.001650+0.001173*j);

```

```

X(54,55)=-1/(0.000919+0.000243*j);
X(55,54)=-1/(0.000919+0.000243*j);
X(54,56)=-1/(0.001578+0.001121*j);
X(56,54)=-1/(0.001578+0.001121*j);
X(56,57)=-1/(0.002562+0.000679*j);
X(57,56)=-1/(0.002562+0.000679*j);
X(56,58)=-1/(0.000280+0.000199*j);
X(58,56)=-1/(0.000280+0.000199*j);
X(58,59)=-1/(0.001746+0.000691*j);
X(59,58)=-1/(0.001746+0.000691*j);
X(59,60)=-1/(0.009070+0.003590*j);
X(60,59)=-1/(0.009070+0.003590*j);
X(60,61)=-1/(0.000799+0.000316*j);
X(61,60)=-1/(0.000799+0.000316*j);
X(61,62)=-1/(0.001445+0.000572*j);
X(62,61)=-1/(0.001445+0.000572*j);
X(61,63)=-1/(0.003924+0.001553*j);
X(63,61)=-1/(0.003924+0.001553*j);
X(58,64)=-1/(0.006555+0.002595*j);
X(64,58)=-1/(0.006555+0.002595*j);
X(64,65)=-1/(0.003143+0.001244*j);
X(65,64)=-1/(0.003143+0.001244*j);
X(65,66)=-1/(0.000219+0.000087*j);
X(66,65)=-1/(0.000219+0.000087*j);
X(65,67)=-1/(0.004964+0.001965*j);
X(67,65)=-1/(0.004964+0.001965*j);
X(58,68)=-1/(0.002989+0.002124*j);
X(68,58)=-1/(0.002989+0.002124*j);
X(68,69)=-1/(0.001079+0.000286*j);
X(69,68)=-1/(0.001079+0.000286*j);
X(68,70)=-1/(0.001018+0.000724*j);
X(70,68)=-1/(0.001018+0.000724*j);
X(70,71)=-1/(0.001490+0.000590*j);
X(71,70)=-1/(0.001490+0.000590*j);
X(71,72)=-1/(0.002893+0.001145*j);
X(72,71)=-1/(0.002893+0.001145*j);
X(72,73)=-1/(0.003269+0.000866*j);

```

```

X(73,73)=-1/(0.003269+0.000866*j);
X(72,74)=-1/(0.004291+0.001698*j);
X(74,72)=-1/(0.004291+0.001698*j);
X(74,75)=-1/(0.002971+0.000787*j);
X(75,74)=-1/(0.002971+0.000787*j);
X(74,76)=-1/(0.008961+0.002375*j);
X(76,74)=-1/(0.008961+0.002375*j);
X(70,77)=-1/(0.002539+0.001804*j);
X(77,70)=-1/(0.002539+0.001804*j);
X(77,78)=-1/(0.003965+0.001569*j);
X(78,77)=-1/(0.003965+0.001569*j);
X(78,79)=-1/(0.004788+0.001895*j);
X(79,78)=-1/(0.004788+0.001895*j);
X(79,80)=-1/(0.002193+0.000581*j);
X(80,79)=-1/(0.002193+0.000581*j);
X(79,81)=-1/(0.007614+0.002018*j);
X(81,79)=-1/(0.007614+0.002018*j);
X(77,82)=-1/(0.000796+0.000566*j);
X(82,77)=-1/(0.000796+0.000566*j);
X(82,83)=-1/(0.003417+0.002428*j);
X(83,82)=-1/(0.003417+0.002428*j);
X(83,84)=-1/(0.008324+0.005915*j);
X(84,83)=-1/(0.008324+0.005915*j);
X(84,85)=-1/(0.001391+0.000369*j);
X(85,84)=-1/(0.001391+0.000369*j);
X(84,86)=-1/(0.001238+0.000880*j);
X(86,84)=-1/(0.001238+0.000880*j);
X(83,87)=-1/(0.000947+0.000673*j);
X(87,83)=-1/(0.000947+0.000673*j);
X(87,88)=-1/(0.004430+0.003148*j);
X(88,87)=-1/(0.004430+0.003148*j);
X(88,89)=-1/(0.003397+0.001344*j);
X(89,88)=-1/(0.003397+0.001344*j);
X(88,90)=-1/(0.000924+0.000656*j);
X(90,88)=-1/(0.000924+0.000656*j);
X(90,91)=-1/(0.003100+0.002203*j);
X(91,90)=-1/(0.003100+0.002203*j);

```

```

X(91,92)=-1/(0.003748+0.000993*j);
X(92,91)=-1/(0.003748+0.000993*j);
X(92,93)=-1/(0.009880+0.002618*j);
X(93,92)=-1/(0.009880+0.002618*j);
X(93,94)=-1/(0.010271+0.002722*j);
X(94,93)=-1/(0.010271+0.002722*j);
X(93,95)=-1/(0.002093+0.000555*j);
X(95,93)=-1/(0.002093+0.000555*j);
X(95,96)=-1/(0.006450+0.001709*j);
X(96,95)=-1/(0.006450+0.001709*j);
X(96,97)=-1/(0.009822+0.003888*j);
X(97,96)=-1/(0.009822+0.003888*j);
X(97,98)=-1/(0.003548+0.001404*j);
X(98,97)=-1/(0.003548+0.001404*j);
X(98,99)=-1/(0.005221+0.002067*j);
X(99,98)=-1/(0.005221+0.002067*j);
X(98,100)=-1/(0.003163+0.001252*j);
X(100,98)=-1/(0.003163+0.001252*j);
X(100,101)=-1/(0.003487+0.001380*j);
X(101,100)=-1/(0.003487+0.001380*j);
X(101,102)=-1/(0.004435+0.001175*j);
X(102,101)=-1/(0.004435+0.001175*j);
X(101,103)=-1/(0.002660+0.001053*j);
X(103,101)=-1/(0.002660+0.001053*j);
X(103,104)=-1/(0.001295+0.000512*j);
X(104,103)=-1/(0.001295+0.000512*j);
X(103,105)=-1/(0.006471+0.002561*j);
X(105,103)=-1/(0.006471+0.002561*j);
X(93,106)=-1/(0.009222+0.002444*j);
X(106,93)=-1/(0.009222+0.002444*j);
X(91,107)=-1/(0.008590+0.002276*j);
X(107,91)=-1/(0.008590+0.002276*j);
X(107,108)=-1/(0.009334+0.002474*j);
X(108,107)=-1/(0.009334+0.002474*j);
X(108,109)=-1/(0.006774+0.002682*j);
X(109,108)=-1/(0.006774+0.002682*j);
X(108,110)=-1/(0.014046+0.003722*j);

```

```

X(110,108)=-1/(0.014046+0.003722*j);
X(110,111)=-1/(0.005140+0.002035*j);
X(111,110)=-1/(0.005140+0.002035*j);
X(111,112)=-1/(0.009937+0.002633*j);
X(112,111)=-1/(0.009937+0.002633*j);
X(112,113)=-1/(0.008458+0.002241*j);
X(113,112)=-1/(0.008458+0.002241*j);
X(112,114)=-1/(0.010290+0.002727*j);
X(114,112)=-1/(0.010290+0.002727*j);
X(110,115)=-1/(0.025896+0.006863*j);
X(115,110)=-1/(0.025896+0.006863*j);
X(115,116)=-1/(0.003034+0.001201*j);
X(116,115)=-1/(0.003034+0.001201*j);
X(116,117)=-1/(0.004882+0.001294*j);
X(117,116)=-1/(0.004882+0.001294*j);
X(116,118)=-1/(0.004041+0.001599*j);
X(118,116)=-1/(0.004041+0.001599*j);
X(118,119)=-1/(0.022355+0.005924*j);
X(119,118)=-1/(0.022355+0.005924*j);
X(119,120)=-1/(0.018908+0.005011*j);
X(120,119)=-1/(0.018908+0.005011*j);
X(115,121)=-1/(0.001796+0.000476*j);
X(121,115)=-1/(0.001796+0.000476*j);
X(121,122)=-1/(0.014009+0.003713*j);
X(122,121)=-1/(0.014009+0.003713*j);
X(122,123)=-1/(0.002853+0.000756*j);
X(123,122)=-1/(0.002853+0.000756*j);
X(123,124)=-1/(0.010275+0.004067*j);
X(124,123)=-1/(0.010275+0.004067*j);
X(123,125)=-1/(0.013204+0.003499*j);
X(125,123)=-1/(0.013204+0.003499*j);
X(125,126)=-1/(0.001875+0.000742*j);
X(126,125)=-1/(0.001875+0.000742*j);
X(125,127)=-1/(0.016808+0.004454*j);
X(127,125)=-1/(0.016808+0.004454*j);
X(127,128)=-1/(0.004486+0.001189*j);
X(128,127)=-1/(0.004486+0.001189*j);

```

```

X(128,129)=-1/(0.000987+0.000261*j);
X(128,129)=-1/(0.000987+0.000261*j);
X(128,130)=-1/(0.004117+0.001091*j);
X(130,128)=-1/(0.004117+0.001091*j);
X(127,131)=-1/(0.052392+0.013885*j);
X(131,127)=-1/(0.052392+0.013885*j);
X(127,132)=-1/(0.003187+0.000845*j);
X(132,127)=-1/(0.003187+0.000845*j);
X(132,133)=-1/(0.004339+0.001150*j);
X(133,132)=-1/(0.004339+0.001150*j);
X(133,134)=-1/(0.001457+0.000386*j);
X(134,133)=-1/(0.001457+0.000386*j);
X(133,135)=-1/(0.017500+0.004638*j);
X(135,133)=-1/(0.017500+0.004638*j);
X(135,136)=-1/(0.005357+0.001420*j);
X(136,135)=-1/(0.005357+0.001420*j);
X(136,137)=-1/(0.005113+0.001355*j);
X(137,136)=-1/(0.005113+0.001355*j);
X(137,138)=-1/(0.005382+0.001426*j);
X(138,137)=-1/(0.005382+0.001426*j);
X(136,139)=-1/(0.005093+0.001350*j);
X(139,136)=-1/(0.005093+0.001350*j);
X(139,140)=-1/(0.006682+0.001771*j);
X(140,139)=-1/(0.006682+0.001771*j);
X(140,141)=-1/(0.008745+0.002318*j);
X(141,140)=-1/(0.008745+0.002318*j);
X(140,142)=-1/(0.008214+0.002177*j);
X(142,140)=-1/(0.008214+0.002177*j);
X(142,143)=-1/(0.013777+0.003651*j);
X(143,142)=-1/(0.013777+0.003651*j);

```

%encontrando os valores da diagonal principal x

```

X(1,1)=1/(0.005217+0.003706*j);
X(2,2)=1/(0.005353+0.003804*j);
X(3,3)=1/(0.005629+0.004001*j);
X(4,4)=1/(0.000742+0.000528*j);
X(5,5)=1/(0.013967+0.006455*j);

```

$X(6,6)=1/(0.012232+0.003241*j);$
 $X(7,7)=1/(0.013464+0.003568*j);$
 $X(8,8)=1/(0.001058+0.000280*j);$
 $X(9,9)=1/(0.010000+0.002650*j);$
 $X(10,10)=1/(0.000691+0.000183*j);$
 $X(11,11)=1/(0.004147+0.001099*j);$
 $X(12,12)=1/(0.012966+0.003437*j);$
 $X(13,13)=1/(0.014823+0.003929*j);$
 $X(14,14)=1/(0.012413+0.003535*j);$
 $X(15,15)=1/(0.001874+0.000742*j);$
 $X(16,16)=1/(0.011495+0.003295*j);$
 $X(17,17)=1/(0.005571+0.001477*j);$
 $X(18,18)=1/(0.001860+0.000493*j);$
 $X(19,19)=1/(0.004640+0.001717*j);$
 $X(20,20)=1/(0.000081+0.000243*j);$
 $X(21,21)=1/(0.002979+0.004830*j);$
 $X(22,22)=1/(0.002148+0.000569*j);$
 $X(23,23)=1/(0.003467+0.001372*j);$
 $X(24,24)=1/(0.008178+0.002167*j);$
 $X(25,25)=1/(0.008892+0.004708*j);$
 $X(26,26)=1/(0.003614+0.000958*j);$
 $X(27,27)=1/(0.008511+0.005585*j);$
 $X(28,28)=1/(0.001037+0.000275*j);$
 $X(29,29)=1/(0.007103+0.005047*j);$
 $X(30,30)=1/(0.018347+0.006644*j);$
 $X(31,31)=1/(0.007283+0.001930*j);$
 $X(32,32)=1/(0.020301+0.005379*j);$
 $X(33,33)=1/(0.003416+0.000905*j);$
 $X(34,34)=1/(0.009820+0.002602*j);$
 $X(35,35)=1/(0.004781+0.003397*j);$
 $X(36,36)=1/(0.005552+0.003486*j);$
 $X(37,37)=1/(0.001458+0.000577*j);$
 $X(38,38)=1/(0.004118+0.002927*j);$
 $X(39,39)=1/(0.006503+0.003893*j);$
 $X(40,40)=1/(0.008161+0.002163*j);$
 $X(41,41)=1/(0.000437+0.000116*j);$
 $X(42,42)=1/(0.006090+0.001614*j);$

$X(43,43)=1/(0.003695+0.002625*j);$
 $X(44,44)=1/(0.003837+0.002279*j);$
 $X(45,45)=1/(0.001003+0.000266*j);$
 $X(46,46)=1/(0.003359+0.002387*j);$
 $X(47,47)=1/(0.012120+0.003644*j);$
 $X(48,48)=1/(0.004135+0.001096*j);$
 $X(49,49)=1/(0.012974+0.003438*j);$
 $X(50,50)=1/(0.018391+0.005360*j);$
 $X(51,51)=1/(0.002456+0.000651*j);$
 $X(52,52)=1/(0.006258+0.001658*j);$
 $X(53,53)=1/(0.003719+0.001472*j);$
 $X(54,54)=1/(0.004147+0.002537*j);$
 $X(55,55)=1/(0.000919+0.000243*j);$
 $X(56,56)=1/(0.004420+0.001999*j);$
 $X(57,57)=1/(0.002562+0.000679*j);$
 $X(58,58)=1/(0.011570+0.003014*j);$
 $X(59,59)=1/(0.010816+0.004281*j);$
 $X(60,60)=1/(0.009869+0.003906*j);$
 $X(61,61)=1/(0.006168+0.002441*j);$
 $X(62,62)=1/(0.001445+0.000572*j);$
 $X(63,63)=1/(0.003924+0.001553*j);$
 $X(64,64)=1/(0.009698+0.003839*j);$
 $X(65,65)=1/(0.003362+0.003296*j);$
 $X(66,66)=1/(0.000219+0.000087*j);$
 $X(67,67)=1/(0.004964+0.001965*j);$
 $X(68,68)=1/(0.005086+0.003134*j);$
 $X(69,69)=1/(0.001079+0.000286*j);$
 $X(70,70)=1/(0.002508+0.001314*j);$
 $X(71,71)=1/(0.004383+0.001735*j);$
 $X(72,72)=1/(0.010453+0.003709*j);$
 $X(73,73)=1/(0.003269+0.000866*j);$
 $X(74,74)=1/(0.016223+0.004860*j);$
 $X(75,75)=1/(0.002971+0.000787*j);$
 $X(76,76)=1/(0.008961+0.002375*j);$
 $X(77,77)=1/(0.006504+0.003373*j);$
 $X(78,78)=1/(0.008753+0.003464*j);$
 $X(79,79)=1/(0.014595+0.004494*j);$

$X(80,80)=1/(0.002193+0.000581*j);$
 $X(81,81)=1/(0.007614+0.002018*j);$
 $X(82,82)=1/(0.004213+0.002994*j);$
 $X(83,83)=1/(0.011741+0.009016*j);$
 $X(84,84)=1/(0.010953+0.007164*j);$
 $X(85,85)=1/(0.001391+0.000369*j);$
 $X(86,86)=1/(0.001238+0.000880*j);$
 $X(87,87)=1/(0.005377+0.003821*j);$
 $X(88,88)=1/(0.008751+0.005148*j);$
 $X(89,89)=1/(0.003397+0.001344*j);$
 $X(90,90)=1/(0.004024+0.002859*j);$
 $X(91,91)=1/(0.015438+0.003196*j);$
 $X(92,92)=1/(0.013628+0.003611*j);$
 $X(93,93)=1/(0.031466+0.008339*j);$
 $X(94,94)=1/(0.010271+0.002722*j);$
 $X(95,95)=1/(0.008543+0.002264*j);$
 $X(96,96)=1/(0.016272+0.005597*j);$
 $X(97,97)=1/(0.013370+0.005292*j);$
 $X(98,98)=1/(0.011932+0.004723*j);$
 $X(99,99)=1/(0.005221+0.002067*j);$
 $X(100,100)=1/(0.006650+0.002632*j);$
 $X(101,101)=1/(0.010582+0.003608*j);$
 $X(102,102)=1/(0.004435+0.001175*j);$
 $X(103,103)=1/(0.010426+0.004126*j);$
 $X(104,104)=1/(0.001295+0.000512*j);$
 $X(105,105)=1/(0.006471+0.002561*j);$
 $X(106,106)=1/(0.009222+0.002444*j);$
 $X(107,107)=1/(0.017924+0.004750*j);$
 $X(108,108)=1/(0.030154+0.008878*j);$
 $X(109,109)=1/(0.006774+0.002682*j);$
 $X(110,110)=1/(0.019186+0.005757*j);$
 $X(111,111)=1/(0.015077+0.004668*j);$
 $X(112,112)=1/(0.028685+0.004874*j);$
 $X(113,113)=1/(0.008458+0.002241*j);$
 $X(114,114)=1/(0.010290+0.002727*j);$
 $X(115,115)=1/(0.028930+0.008540*j);$
 $X(116,116)=1/(0.011957+0.004094*j);$

```

X(117,117)=1/(0.004882+0.001294*j);
X(118,118)=1/(0.026396+0.007523*j);
X(119,119)=1/(0.041263+0.010935*j);
X(120,120)=1/(0.018908+0.005011*j);
X(121,121)=1/(0.015805+0.004189*j);
X(122,122)=1/(0.016862+0.004469*j);
X(123,123)=1/(0.026332+0.008322*j);
X(124,124)=1/(0.010275+0.004067*j);
X(125,125)=1/(0.031887+0.008695*j);
X(126,126)=1/(0.001875+0.000742*j);
X(127,127)=1/(0.021294+0.020373*j);
X(128,128)=1/(0.009590+0.002541*j);
X(129,129)=1/(0.000987+0.000261*j);
X(130,130)=1/(0.004117+0.001091*j);
X(131,131)=1/(0.052392+0.013885*j);
X(132,132)=1/(0.007526+0.001995*j);
X(133,133)=1/(0.023296+0.006174*j);
X(134,134)=1/(0.001457+0.000386*j);
X(135,135)=1/(0.022857+0.006058*j);
X(136,136)=1/(0.015563+0.002775*j);
X(137,137)=1/(0.010495+0.002781*j);
X(138,138)=1/(0.005382+0.001426*j);
X(139,139)=1/(0.011775+0.003121*j);
X(140,140)=1/(0.023641+0.004089*j);
X(141,141)=1/(0.008745+0.002318*j);
X(142,142)=1/(0.021991+0.005828*j);
X(143,143)=1/(0.013777+0.003651*j);

Z=inv(Y);
ZB=inv(X);

%Z= a Zbuz sequencia positiva e negativa iguais
%ZB=sequencia 0
%os valores medisos estao na matriz ZT
%colocar todos os valores na matriz
ZT=[10 132 1334 1915 407 1970];
ZF=ZT./Zb;

```

```

for k=1:143
ic=abs(3/(2*Z(k,k)+ZB(k,k)+3*ZF(1,1)));

fprintf("\n valor da corrente de curto circuito na barra %d com a
inpedancia BASE 10 Ohms =%d PU",k,ic )
end
for k=1:143
ic=abs(3/(2*Z(k,k)+ZB(k,k)+3*ZF(1,2)));

fprintf("\n valor da corrente de curto circuito na barra %d com a
inpedancia lago JK =%d PU",k,ic )
end
for k=1:143
ic=abs(3/(2*Z(k,k)+ZB(k,k)+3*ZF(1,3)));

fprintf("\n valor da corrente de curto circuito na barra %d com a
inpedancia PARQUE DAS BRISAS =%d PU",k,ic )
end
for k=1:143
ic=abs(3/(2*Z(k,k)+ZB(k,k)+3*ZF(1,4)));

fprintf("\n valor da corrente de curto circuito na barra %d com a
inpedancia LAGO BOM SUCESSO =%d PU",k,ic )
end
for k=1:143
ic=abs(3/(2*Z(k,k)+ZB(k,k)+3*ZF(1,5)));

fprintf("\n valor da corrente de curto circuito na barra %d com a
inpedancia PRACA DO OLHO DE AGUA =%d PU",k,ic )
end
for k=1:143
ic=abs(3/(2*Z(k,k)+ZB(k,k)+3*ZF(1,6)));

fprintf("\n valor da corrente de curto circuito na barra %d com a
inpedancia PARQUE ECOLÓGICO JOSÉ GONÇALVES BRITO =%d PU",k,ic )
end

```