

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA - SISTEMAS ELÉCTRICOS DE ENERGIA

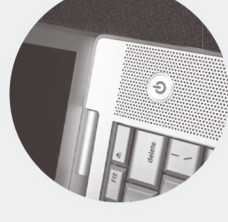
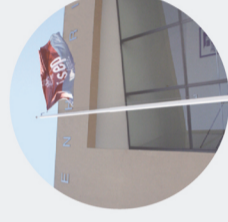
isep



GUIA INTERATIVO NA PROTEÇÃO DE PESSOAS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

MARIANA SOFIA BORGES MATOS

novembro de 2019



GUIA INTERATIVO NA PROTEÇÃO DE PESSOAS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

GUIA INTERATIVO NA PROTEÇÃO DE PESSOAS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

MARIANA SOFIA BORGES MATOS
Outubro de 2019

MARIANA SOFIA BORGES MATOS
Outubro de 2019



GUIA INTERATIVO NA PROTEÇÃO DE PESSOAS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

Mariana Sofia Borges Matos



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2019

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Mariana Sofia Borges Matos, Nº 1100529, 1100529@isep.ipp.pt

Orientação científica: José António Beleza Carvalho, jbc@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2019

A persistência é a chave para o sucesso.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Professor Doutor José António Beleza Carvalho, não só pela ajuda no desenvolvimento desta dissertação mas também por todos os conhecimentos transmitidos no decorrer do meu percurso académico.

Um agradecimento especial ao meu namorado, Miguel Seixas, pelo companheirismo, paciência, dedicação e por nunca me deixar desanimar.

Obrigada aos meus amigos e família pela compreensão e o apoio que me deram para concretização deste marco.

Resumo

Os acidentes resultantes da passagem de corrente elétrica no corpo humano resultam do contacto direto ou indireto com elementos sob tensão. Esta pode provocar lesões mais ou menos graves no corpo humano, desde pequenas reações musculares até paragem cardíaca.

Um correto dimensionamento dos dispositivos de proteção, permite que estes atuem no tempo correto antes que a corrente que circula no corpo humano produza danos irreversíveis.

Porém, para que os dispositivos de proteção atuem corretamente e de acordo com os limites estabelecidos nas normas e regulamentos é necessário que o dispositivo de proteção seja adequado ao esquema de ligação à terra que é adotado na instalação.

O objetivo desta dissertação consiste no desenvolvimento de uma ferramenta informática interativa, que permita determinar o tipo de dispositivo de proteção mais adequado para a instalação tendo em conta o Esquema de Ligação à Terra existente na instalação.

Palavras-Chave

Proteção; ELT; Defeitos; Regimes de Neutro; Contactos Diretos; Contactos Indiretos; Choque Elétrico; Eletrocussão.

Abstract

Accidents resulting from current flow in the human body come from contact with live elements (directly or indirectly). It can cause serious injuries to the human body, from minor muscle reactions to cardiac arrest.

Proper sizing of protective devices allows them to act at the correct time before the current flowing through the human body causes irreversible damage.

However, for the protective devices to act correctly and within the limits established by the rules and regulations, the protective device must be suitable for the grounding scheme adopted in the installation.

The aim of this dissertation is to develop an interactive computer tool that determines the type of protection device most suitable for the installation considering the existing grounding scheme.

Keywords

Protection; Grounding schemes; Defects; System Neutral; Direct Contacts; Indirect Contacts; Electric Shocks; electrocution.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	15
2. ESTADO DA ARTE	19
2.1.EFEITOS FISIOPATOLÓGICOS DA CORRENTE NO CORPO HUMANO.....	19
2.2.ESQUEMAS DE LIGAÇÃO À TERRA	24
2.3.DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E SELETIVIDADE.....	51
2.4.CONCLUSÃO	60
3. FERRAMENTA DESENVOLVIDA	63
3.1.ELABORAÇÃO	63
3.2.SIMULAÇÕES.....	67
3.3.CONCLUSÃO	78
4. CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXO A. FERRAMENTA DESENVOLVIDA	87

Índice de Figuras

Figura 1. Contacto direto. [1]	19
Figura 2. Contacto indireto. [1]	19
Figura 3. Zonas de perigo definidas pelo IEC.	20
Figura 4. Instalação de Ligação à Terra [5]	25
Figura 5. Ligações equipotenciais suplementares. [5]	28
Figura 6. Esquema de Ligação à Terra TT. [3]	32
Figura 7. Corrente de defeito no Esquema de ligação à Terra TT. [1]	33
Figura 8. Dispositivo interruptor diferencial residual. [12]	34
Figura 9. Esquema de Ligação à Terra de TN-C. [3]	36
Figura 10. Esquema de ligação à Terra TN-S. [3]	37
Figura 11. Esquema de Ligação à Terra TN-C-S. [3]	37
Figura 12. Corrente de defeito no Esquema TN-C. [2]	38
Figura 13. Curva de funcionamento dos disjuntores $I(t)$.	41
Figura 14. Curva de funcionamento dos fusíveis $I(t)$.	41
Figura 15. Sistema IT Isolado com condutor de Neutro isolado. [1]	43
Figura 16. Sistema IT Isolado com Neutro Isolado. [1]	43
Figura 17. Sistema IT Impedante com Neutro distribuído. [3]	43
Figura 18. Sistema IT Impedante sem Neutro distribuído. [3]	43

Figura 19. Controlador Permanente de Isolado.	46
Figura 20. Segundo defeito numa instalação IT Impedante com CPI.	47
Figura 21. Esquema de Ligação à Terra IT com CPI. [1]	48
Figura 22. Soma vetorial das tensões em caso de defeito.	49
Figura 23. Soma Vetorial das Correntes.	49
Figura 24. Malha de segundo defeito num esquema IT Impedante. [1]	50
Figura 25. Sistema IT com as massas ligadas à Terra por grupos.	51
Figura 26. Curvas de funcionamento dos disjuntores e fusíveis. [5]	54
Figura 27. Seletividade Parcial entre Disjuntores. [11]	55
Figura 28. Seletividade Total entre disjuntores. [11]	56
Figura 29. Aplicação de dispositivos diferenciais para cada parte da instalação. [5]	57
Figura 30. Curvas de atuação dos dispositivos diferenciais do tipo A e B. [5]	58
Figura 31. Seletividade Parcial. [5]	60
Figura 32. Seletividade parcial.	60

Índice de Tabelas

Tabela 1. Efeitos fisiopatológicos de acordo com as zonas pelo IEC. [1]	21
Tabela 2. Diferentes formas de Ligação à Terra. [4]	24
Tabela 3. Secção do condutor PE em função dos condutores ativos. [5]	27
Tabela 4. Ligações equipotenciais suplementares. [5]	28
Tabela 5. Secção mínima para ligações suplementares. [5]	28
Tabela 6. Secção mínima do Condutor de Terra.	29
Tabela 7. Circuitos de Terra. [9]	30
Tabela 8. Valor máximo de resistência para o eléctrodo de Terra das massas. [4]	35
Tabela 9. Tempo de atuação dos dispositivos de proteção no regime TT. [6]	35
Tabela 10. Tempo de atuação dos dispositivos de proteção no regime TN. [6]	38
Tabela 11. Tempo de atuação dos dispositivos de proteção para um sistema IT. [6]	45
Tabela 12. Valor mínimos de resistência de isolamento numa instalação elétrica. [3]	46
Tabela 13. Dispositivos de proteção contra sobrecargas e curto circuitos. [5]	52
Tabela 14. Condições a verificar para dispositivos de proteção contra sobrecargas. [6]	53
Tabela 15. Seletividade entre dispositivos diferenciais. [5]	59
Tabela 16. Quadro 52-C4. [5]	65
Tabela 17. Quadro 52-C11. [5]	66
Tabela 18. Simulações.	67

Acrónimos

AS	–	Alta Sensibilidade
CIE	–	Comissão Eletrotécnica Internacional
CPI	–	Controlador Permanente de Isolamento
ELT	–	Esquema de Ligação à Terra
EN	–	Norma Europeia
IEC	–	<i>Internacional Electrotechnical Commission</i>
IP	–	Índice de Proteção
IT	–	Fonte de Alimentação Isolada e massas ligadas à Terra
MD	–	Média Sensibilidade
PE	–	Condutor de Proteção
PEN	–	Condutor de Proteção e Neutro
RTIEBT	–	Regras Técnicas de Instalações Elétricas em Baixa Tensão
TN	–	Fonte de Alimentação ligada à Terra e massas ligadas ao condutor de Neutro
TT	–	Fonte de Alimentação ligada à Terra e massas ligadas à Terra
TRP	–	Tensão Reduzida de Proteção
TRS	–	Tensão Reduzida de Segurança
VBA	–	<i>Visual Basic Applications</i>

1. INTRODUÇÃO

O objetivo desta dissertação consiste no desenvolvimento de uma ferramenta informática que funcione como um guia interativo de proteção de pessoas tendo em conta o Esquema de Ligação à Terra (ELT) implementado na instalação.

Este tema é fortemente legislado, uma vez que a passagem de corrente elétrica no corpo humano pode ter consequências irreversíveis, sendo por isso necessário que os dispositivos de proteção aplicados na instalação atuem num tempo definido para evitar danos maiores.

A legislação em vigor baseia-se fundamentalmente em normas definidas pelo IEC (*Internacional Electrotechnical Commission*), existindo ainda as normas europeias e regulamentos que definem diversos parâmetros a ter em conta no dimensionamento de instalações elétricas, para que a proteção das pessoas seja efetivamente garantida.

A norma IEC 60479-1, que aborda o efeito da corrente elétrica nos seres humanos e nos animais, define as zonas de segurança em função da amplitude de corrente e a duração da mesma, em instalações elétricas alimentadas a corrente alternada e corrente contínua. Destacam-se os estudos relativos à impedância do corpo humano, os limites de corrente a fluir no mesmo, efeitos fisiológicos provocados pela corrente e tempo máximo de atuação dos dispositivos de proteção.

Na norma IEC 60364-4 são referidas as regras a ter em conta para que se garanta a proteção das pessoas, os métodos de proteção a aplicar para os diferentes tipos de defeitos,

as características a ter em conta para definição dos equipamentos assim como os esquemas de ligação à terra existentes a aplicar nas instalações.

A norma europeia EN 61008-1, aplica-se a disjuntores de corrente residual, onde não se incorporem proteções contra sobreintensidades. Estes dispositivos destinam-se a proteger as pessoas contra contactos indirectos, podendo ainda ser usados para fornecer proteção contra risco de incendio devido a uma corrente de defeito à terra persistente, sem operação do dispositivo contra sobreintensidades.

As Regras Técnicas de Instalações Elétricas em Baixa Tensão (RTIEBT), são o documento regulamentar aplicado em Portugal, publicado em 2006. Destina-se a definir as regras de instalação e de segurança nas instalações elétricas, onde estão refletidas todas as normas relacionadas com as instalações elétricas e a segurança das mesmas. Aborda assuntos tais como caracterização dos locais de instalação em função das influências externas, definição dos regimes de neutro (ou esquemas de ligação a terra), métodos de instalação das canalizações, correntes máximas admissíveis para cada uma das seções correspondentes a cada tipo de cabo, assim como critérios a ter em conta em instalações que requerem cuidados específicos.

Este último aplica-se em diversos tipos de instalações, desde edifícios de habitação, espaços recebendo publico, estabelecimentos industriais e agropecuários, parques de campismo e autocaravanas, instalações temporárias, marinas e portos de recreio.

Esta dissertação é desenvolvida ao longo de 4 capítulos, nomeadamente, este capítulo de Introdução (1), o capítulo sobre o Estado da Arte (2), o capítulo que apresenta a Ferramenta Informática que foi desenvolvida (3) e termina com o capítulo de Conclusão (4).

O capítulo 2, está dividido em três subcapítulos, nomeadamente os efeitos fisiopatológicos da corrente elétrica no corpo humano, esquemas de ligação à terra e dispositivos de proteção e seletividade. No primeiro subcapítulo são abordados os diferentes tipos de contactos com a corrente elétrica, os efeitos fisiopatológicos da corrente no corpo humano e quais os métodos a aplicar para evitar estes acidentes.

No segundo subcapítulo, refere-se a equipotencialização dos elementos condutores, eléctrodos de terra e esquemas de ligação à terra. Por fim, no último subcapítulo do estado

da arte, são referidos os dispositivos de proteção que existem atualmente e como é possível obter a coordenação entre eles, de modo a que apenas seja colocada fora de serviço a parte da instalação onde se verifica o defeito.

O capítulo 3 refere-se á ferramenta informática desenvolvida. É indicada a linguagem na qual a mesma é desenvolvida, quais os *inputs* necessários por parte do utilizador para que a mesma funcione. São ainda apresentadas algumas imagens a ilustrar a utilização e o funcionamento da mesma.

Finalmente, no capítulo 4, apresentam-se as principais conclusões que se obtiveram com o desenvolvimento deste trabalho, e indica-se algumas formas em como ele poderia continuar a ser desenvolvido.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. EFEITOS FISIOPATOLÓGICOS DA CORRENTE NO CORPO HUMANO

A proteção contra choques elétricos consiste na proteção de pessoas contra contactos diretos e indiretos. As medidas de proteção contra choques elétricos baseiam-se em dois tipos de perigos: [1]

- Contactos diretos – Contacto direto com um elemento ativo (Figura 1);
- Contactos indiretos – Contacto com uma massa condutora, que se tornou ativa devido a um defeito de isolamento interno (Figura 2).

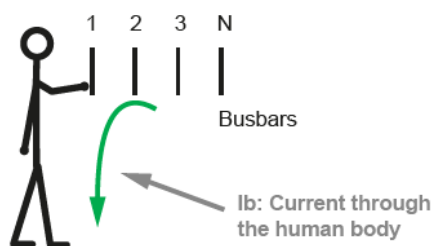


Figura 1. Contacto direto. [1]

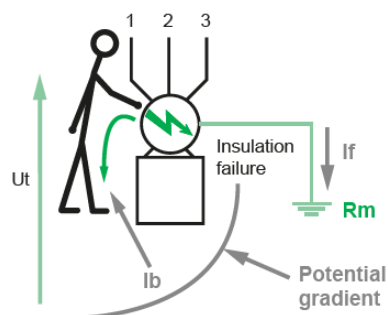


Figura 2. Contacto indireto. [1]

A passagem de corrente elétrica no corpo humano, pode determinar alterações temporárias ou irreversíveis, podendo causar dois tipos de acidentes: [13]

- *Choque elétrico*: Efeito fisiopatológico resultante da passagem de corrente elétrica através do corpo humano ou do corpo de um animal;
- *Electrocução*: Quando a passagem de corrente elétrica no corpo de uma pessoa ou animal provoca a sua morte.

O grau de perigosidade depende da magnitude da corrente elétrica, das partes do corpo por onde a mesma circula e da duração da mesma, porém a intensidade de corrente vai depender da magnitude da tensão do defeito e da resistência do corpo humano. O limite de tensão de 50V é definido tendo em conta o máximo valor de corrente sem causar efeitos fisiopatológicos perigosos para uma resistência mínima do corpo humano.

Segundo a norma [6], atualizada no ano de 2015, foram definidas quatro zonas em função da corrente/magnitude vs. tempo/duração, onde para cada zona estão descritos os efeitos fisiopatológicos da corrente elétrica no corpo humano. Na Figura 3 encontram-se as curvas definidas pelo *Internacional Electrotechnical Commission* (IEC), sendo que os respectivos efeitos fisiopatológicos provocados pela corrente se encontram descritos na Tabela 1. [1]

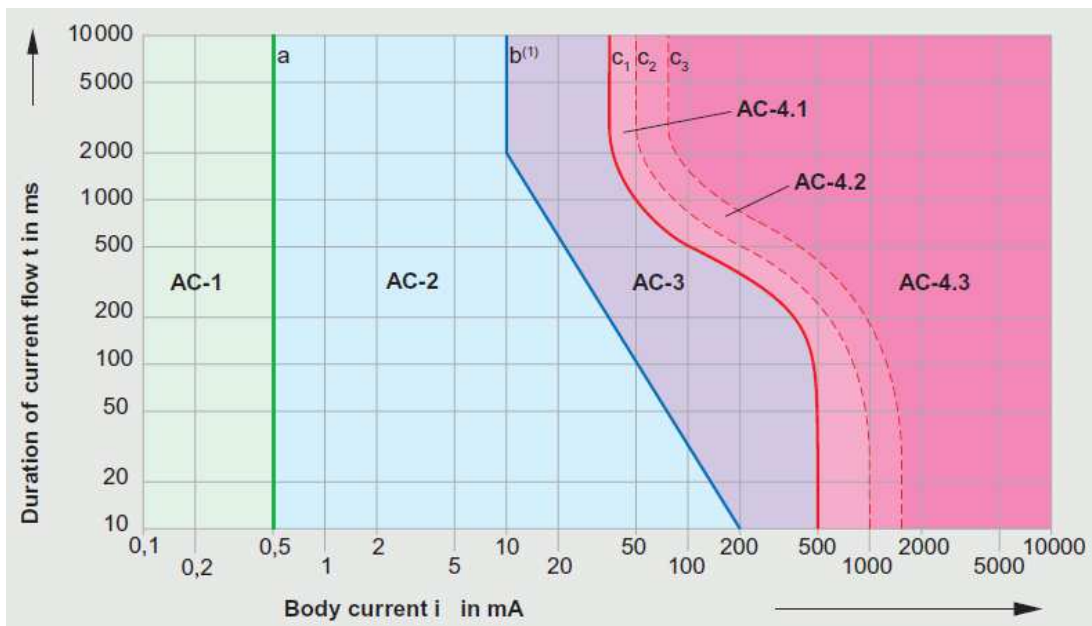


Figura 3. Zonas de perigo definidas pelo IEC.

As curvas foram desenvolvidas tendo em conta uma corrente alternada a circular no corpo humano desde a mão esquerda até ao pé. Analisando as curvas de segurança, e tendo em conta os parâmetros definidos para caracterização das mesmas, uma corrente até aos

0.5mA não é perceptível pelo corpo humano. A curva *a* apresenta o limite até a qual o corpo humano não é sensível a passagem de corrente [AC-1]. [1]

A zona AC-2, corresponde a uma zona em que o corpo humano já é sensível á passagem de corrente. Para a curva *b*, verifica-se que o aumento da corrente corresponde a uma redução da duração de passagem de corrente, ou seja, a medida que a corrente aumenta o tempo de atuação dos dispositivos de proteção reduz. Em função da magnitude da corrente e tempo de passagem no corpo humano, é definido o limite para reações musculares. [1]

A partir da curva B os efeitos da corrente no corpo humano já são perceptíveis podendo variar desde contrações musculares a fibrilação ventricular. A zona AC-3 é limitada pela curva B e C₁, que representa a zona em que os efeitos provocados pela corrente são reversíveis. Da curva C₁ em diante já entramos na zona AC-4 em que pode ocorrer fibrilação ventricular. [1]

A zona AC-4 está ainda dividida em subáreas, limitadas pelas curvas C₂ e C₃, correspondendo ao limite de 5% de probabilidade de fibrilação ventricular e 50 de fibrilação ventricular, respetivamente. A fibrilação ventricular pode conduzir a paragens cardiorrespiratórias, podendo levar a morte. [1]

Tabela 1. Efeitos fisiopatológicos de acordo com as zonas pelo IEC. [1]

Zonas ⁽¹⁾		Curvas	
AC-1	Imperceptível	A	Limite de percepção da corrente
AC-2	Perceptível	B	Limite de reações musculares
AC-3	Efeitos Reversíveis	C ₁	Limite associado a 0% de probabilidade de ocorrência de fibrilação ventricular
AC-4	Possibilidade de efeitos Irreversíveis	C ₂	Limite associado a 5% de probabilidade de ocorrência de fibrilação ventricular
AC-4-1	Até 5% de probabilidade de fibrilação cardíaca	C ₃	Limite associado a 5% de probabilidade de ocorrência de fibrilação ventricular
AC-4-2	Até 50% de probabilidade de fibrilação cardíaca		
AC-4-3	Mais de 50% de Probabilidade de fibrilação cardíaca		

As curvas foram desenvolvidas tendo em conta uma corrente alternada a circular no corpo humano desde a mão esquerda até ao pé. Analisando as curvas de segurança, e tendo em

conta os parâmetros definidos para caracterização das mesmas, uma corrente até aos 0.5mA não é perceptível pelo corpo humano. A curva *a* apresenta o limite até a qual o corpo humano não é sensível a passagem de corrente [AC-1]. [1]

A zona AC-2, corresponde a uma zona em que o corpo humano já é sensível á passagem de corrente. Para a curva *b*, verifica-se que o aumento da corrente corresponde a uma redução da duração de passagem de corrente, ou seja, a medida que a corrente aumenta o tempo de atuação dos dispositivos de proteção reduz. Em função da magnitude da corrente e tempo de passagem no corpo humano, é definido o limite para reações musculares. [1]

A partir da curva B os efeitos da corrente no corpo humano já são perceptíveis podendo variar desde contrações musculares a fibrilação ventricular. A zona AC-3 é limitada pela curva B e C₁, que representa a zona em que os efeitos provocados pela corrente são reversíveis. Da curva C₁ em diante já entramos na zona AC-4 em que pode ocorrer fibrilação ventricular. [1]

A zona AC-4 está ainda dividida em subáreas, limitadas pelas curvas C₂ e C₃, correspondendo ao limite de 5% de probabilidade de fibrilação ventricular e 50 de fibrilação ventricular, respetivamente. A fibrilação ventricular pode conduzir a paragens cardiorrespiratórias, podendo levar a morte. [1]

De modo a garantir a segurança, devem ser aplicadas na instalação medidas de proteção contra choques elétricos, nomeadamente contra contactos diretos e indiretos. A proteção contra contactos diretos consiste na proteção do contacto das pessoas com as partes ativas, que pode ser desenvolvida da seguinte forma: [3][5]

Isolamento das partes ativas: As partes ativas da instalação devem de estar revestidas por um isolamento que apenas possa ser retirado se destruído. Não são considerados isolamentos tintas, vernizes, lacas e produtos análogos pois não possuem isolamento suficiente para conferir proteção contra contactos diretos.

Barreiras ou invólucros: Partes ativas colocadas no interior de invólucros ou por trás de barreiras que tenham pelo menos um código IP2X. os equipamentos que não satisfaçam o IP2X devem de ser protegidos por meios de barreiras ou de invólucros complementares.

Por meio de Obstáculos: Devem impedir a aproximação não intencional às partes ativas assim como os contactos não intencionais com as partes ativas durante intervenções nos

equipamentos em tensão. Estes podem ser desmontáveis, sem necessidade de utilizar uma ferramenta/chave e devem ser fixados de modo a impedir a sua retirada involuntária.

Colocação fora de alcance: Partes simultaneamente acessíveis que se encontrem sujeitas a potenciais diferentes, não devem situar-se no interior do volume de acessibilidade. São considerados simultaneamente acessíveis se distarem até 2.5m, devendo a distância ser aumentada em função do comprimento dos objetos condutores que possam ser manipulados ou transportados nos respetivos locais.

Utilização de dispositivos diferenciais: Este tipo de proteção não invalida a aplicação das medidas de proteção clássicas, é considerada uma medida de proteção complementar em caso de falha das outras medidas de proteção referidas ou imprudência dos utilizadores.

A proteção contra contactos indiretos é conseguida através da aplicação das seguintes medidas: [3][5]

Corte Automático da alimentação: Quando em caso de defeito e em consequência do valor e da duração da tensão de contacto, existir o risco de se produzirem efeitos fisiopatológicos perigosos nas pessoas. Obriga à coordenação entre os esquemas de ligação à Terra, as características dos condutores de proteção e dos dispositivos de proteção.

Proteção por utilização de equipamentos de classe II de isolamento ou por isolamento equivalente: Destina-se a impedir o aparecimento de tensões perigosas nas partes acessíveis dos equipamentos elétricos, em caso de defeito no isolamento principal, através da instalação de um duplo isolamento ou de um isolamento suplementar sobre as partes ativas. O invólucro isolante deve ser capaz de suportar as solicitações mecânicas, elétricas e térmicas.

Proteção por recurso a locais não condutores: as massas não devem ser dispostas de forma a que as pessoas não possam contactar simultaneamente com duas massas, ou então uma massa e um elemento condutor (se forem suscetíveis de se encontrarem a potenciais diferentes). Uma vez que nestes locais não está previsto qualquer condutor de proteção, a utilização de equipamentos de classe 0 de isolamento, só é permitida se todas as condições forem cumpridas.

Proteção por ligações equipotenciais locais não ligadas à Terra: Todas as massas e elementos condutores simultaneamente acessíveis devem ser ligados a condutores de

equipotencialidade que não deve ser ligada à terra nem diretamente nem através de massas ou de elementos condutores. Devem ser tomadas medidas que permitam o acesso de pessoas sem que fiquem sujeitas a uma diferença de potencial perigosa.

Proteção por separação elétrica: Circuitos alimentados através de uma fonte de alimentação de separação, sendo elas um transformador de separação ou uma fonte de alimentação que garanta uma segurança equivalente à do transformador de separação. Quando o circuito separado alimentar um único equipamento a massa desse circuito não deve ser ligada a condutores de proteção ou massas de outros circuitos.

Embora existam métodos de proteção contra contactos indirectos, o melhor método de proteção consiste na implementação de uma rede de Terras. A rede de Terras ou regime de Neutro a implementar numa instalação elétrica depende das condições de exploração e da continuidade de serviço exigida para a mesma. [4]

2.2. ESQUEMAS DE LIGAÇÃO À TERRA

Os Regimes de Neutro, ou esquemas de Ligação à Terra (ELT), têm como objetivo a proteção de pessoas contra contactos indirectos. Caracterizam-se pelo modo de ligação à terra da fonte de energia e das massas da instalação, na Tabela 2 encontram-se descritos o modo de ligação à Terra, caracterizados através de duas letras, sendo que a primeira indica o modo de ligação à Terra da Fonte de energia e a segunda o modo de ligação à terra das massas da instalação. [4]

Tabela 2. Diferentes formas de Ligação à Terra. [4]

1ª Letra	2ª Letra
T – Ligação direta de um ponto (normalmente do Neutro) diretamente à Terra	T – As massas ligam diretamente à Terra
I – Isolado ou Impedante	N – As massas ligam ao condutor Neutro

Os principais objetivos de uma ligação à Terra segura e eficaz consistem em garantir que as pessoas nas proximidades das instalações ligadas à Terra, não estejam expostas a risco de electrocução e, em condições de defeito, providenciar meios para conduzir as correntes elétricas para a Terra. [5]

A proteção de pessoas contra contactos diretos é independente do ELT adotado na instalação para proteção de pessoas contra contactos indiretos. Ainda assim, existem dois níveis de proteção: [4]

- 1º Nível de proteção consiste em colocar todas as massas condutoras dos equipamentos elétricos ao potencial da terra, construindo um circuito equipotencial;
- 2º Nível de proteção consiste no corte automático da alimentação na zona da instalação com defeito, por um dispositivo de corte com capacidade de atuação adequada à amplitude da tensão de defeito.

O esquema de ligação à Terra (ELT) escolhido para uma instalação consiste na criação de uma malha de defeito, que em caso de defeito limita a corrente de defeito a circular na mesma. Uma instalação de ligação à terra, conforme ilustrado na Figura 4, consiste no conjunto de um ou vários elétrodos de terra interligados através de condutores de proteção. [4][5]

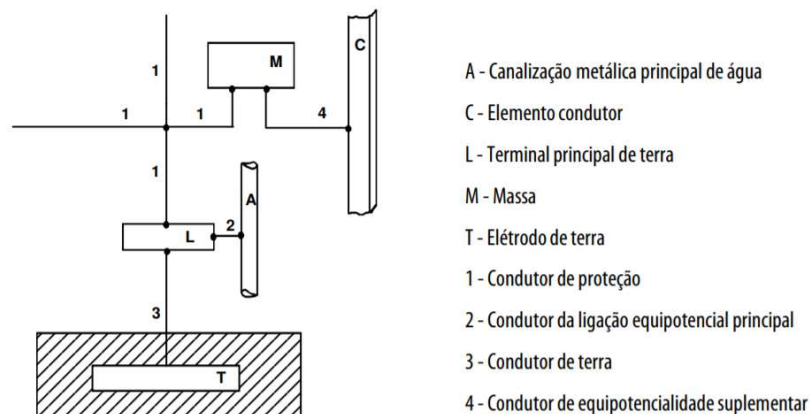


Figura 4. Instalação de Ligação à Terra [5]

A letra T, tal como indica a figura, representa o elétrodo de Terra, que é constituído por uma massa condutora, cujo potencial eléctrico em cada ponto é por convenção igual a zero. A massa, indicada pela letra M, é o termo utilizado para caracterizar as partes metálicas dos equipamentos eléctricos suscetíveis de se tornarem condutores devido a falhas de isolamento ou das medidas de fixação e de proteção. [5]

O Conductor de Proteção (PE) é prescrito em algumas medidas de proteção contra choques eléctricos e destina-se a ligar eletricamente o ponto de alimentação à Terra, as massas, elementos condutores, o terminal principal de Terra e o elétrodo de Terra como é possível verificar pela Figura 4. [5]

O mesmo pode surgir como um condutor pertencente a cabos multicondutores, condutor isolado ou nu, com o mesmo involucro que os condutores ativos, condutor separado (nu ou isolado) porém quando fizer parte da mesma canalização que os condutores ativos, devem ter isolamento idêntico ao dos restantes condutores da respetiva canalização. [5]

Para garantir que os condutores de proteção são capazes de escoar a corrente máxima de defeito previsível sem aquecimento que possa pôr em risco a sua conservação e continuidade, a secção deve ser igual ao valor normalizado igual ou imediatamente superior ao valor resultante da aplicação da equação (1). Esta equação é válida apenas para tempos de atuação do dispositivo de corte inferior ou igual a 5s. [5]

$$S = \frac{I \sqrt{t}}{k} \quad (1)$$

Em que:

- S: Secção do condutor de proteção, em mm²;
- I: Valor eficaz da corrente de defeito que pode percorrer o dispositivo de proteção em condições de defeito (com impedância desprezável), em Amperes (A);
- t: tempo de funcionamento do dispositivo de corte, em segundos (s);
- k: fator dependente da natureza do condutor de proteção.

O fator k pode ser determinado por meio da expressão seguinte: [19]

$$k = \sqrt{\frac{Q_c(B+20)}{\rho_{20}} \times \log_e \left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B + \theta_i}\right)} \quad (2)$$

Com:

- Q_c: Capacidade térmica volúmica do material do condutor, J / °C mm³;
- B: inverso do coeficiente da temperatura da resistividade a 0°C para o condutor, em °C;
- ρ₂₀: Resistividade elétrica do material condutor a 20°C, Ω.mm;
- θ_i: Temperatura inicial do condutor, em °C;
- θ_f: Temperatura final do condutor, em °C.

Quando pela aplicação das condições indicadas os valores não correspondem a valores normalizados, devem ser considerados os valores normalizados por excesso. Contudo a secção do condutor PE não deve ter uma secção inferior aos valores da Tabela 3. [5]

Tabela 3. Secção do condutor PE em função dos condutores ativos. [5]

Secção dos condutores de fase da instalação S_F (mm²)	Secção mínima dos condutores de proteção S_{PE} (mm²)
$S_F \leq 16$	$S_{PE} = S_F$
$16 \leq S_F \leq 35$	$S_{PE} = 16$
$S_F > 35$	$S_{PE} = S_F/2$

Os valores indicados na tabela acima, apenas são válidos para condutores de proteção com o mesmo elemento condutor dos metais ativos. Caso contrário, os condutores de proteção devem ter secção que possua uma condutividade equivalente à que resultaria da aplicação da Tabela 3. [5]

O condutor principal de proteção é o condutor que interliga os condutores de proteção das massas, condutores de terra e os condutores das ligações equipotenciais. As ligações equipotenciais são ligações elétricas destinadas a colocar ao mesmo potencial, ou aproximado, as massas e os elementos condutores de uma instalação. Podem distinguir-se três tipos de ligações equipotenciais, nomeadamente: [5]

- Ligação equipotencial principal;
- Ligações equipotenciais suplementares;
- Ligações equipotenciais locais não ligadas à Terra.

A ligação equipotencial principal permite evitar que surja uma diferença de potencial no interior do edifício, em consequência de um defeito com origem no exterior do edifício. Devem ser ligados à ligação equipotencial principal os seguintes elementos condutores: [5]

- Condutor principal de proteção;
- Condutor principal de terra (ou terminal principal de Terra);
- Canalizações metálicas de alimentação do edifício e situadas no interior;
- Elementos metálicos da construção, canalizações metálicas de aquecimento central e de ar condicionado.

Uma ligação equipotencial suplementar deve interligar todas as partes condutoras simultaneamente acessíveis, quer sejam as massas dos equipamentos fixos quer dos elementos condutores. Todos os condutores de proteção dos equipamentos, incluindo os das fichas e das tomadas devem ser ligados a este sistema equipotencial. Na Tabela 4 estão indicados os elementos que devem estar ligados a uma ligação equipotencial e aqueles cuja ligação não é necessária. [5]

Tabela 4. Ligações equipotenciais suplementares. [5]

Devem ser ligados:	Não é necessário ligar:
<ul style="list-style-type: none"> - Canalizações metálicas de água quente, fria, ventilação e esgoto; - Aparelhos sanitários metálicos; - Aros metálicos das portas e das janelas, que estejam em contacto com os elementos metálicos da construção. 	<ul style="list-style-type: none"> - Toalheiros não elétricos; - Massas de aparelhos elétricos de classe II; - Grelhas metálicas de ventilação natural; - Radiadores de aquecimento central ligados por canalizações isolantes.

Para os condutores de equipotencialidade também existe uma secção mínima a ser cumprida. Para as ligações equipotenciais principais a secção do condutor de proteção não deve ser inferior à metade da secção do condutor de proteção de maior secção existente na instalação, com um valor mínimo de 6mm^2 podendo ser limitado a 25mm^2 , se o condutor for de cobre, ou de uma secção equivalente se for outro tipo de condutor. [5]

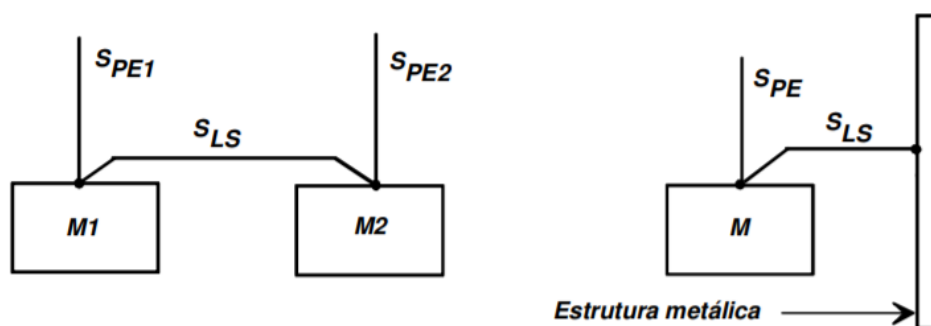


Figura 5. Ligações equipotenciais suplementares. [5]

A secção mínima para ligações equipotenciais suplementares, dependendo do que estas estão a ligar, devem respeitar o disposto na Tabela 5. [5]

Tabela 5. Secção mínima para ligações suplementares. [5]

Duas massas	Uma massa e uma estrutura metálica
$S_{PE1} \leq S_{PE2} \rightarrow S_L \geq S_{PE1}$	$S_{LS} = \frac{S_{pe}}{2}$
Em que: - S_{PE} – Secção do condutor de proteção - S_{LS} – Secção da ligação suplementar	

Os condutores de terra, condutores de proteção, condutores de ligação equipotenciais e condutores que garantem a ligação à terra funcional, caso necessário, ligam ao Terminal principal de Terra, ou Barra principal de Terra. Em edifícios de grande extensão ou com instalações complexas pode ser conveniente instalar mais do que um terminal principal de Terra. [5]

O condutor de terra é o condutor que permite ligar o terminal principal de terra ao elétrodo de terra. Nestes condutores, deve ser previsto um dispositivo instalado no local, denominado de ligador amovível de Terra, acessível e que permita a medição do valor da resistência do elétrodo de terra das massas, podendo esse dispositivo estar associado ao terminal principal de Terra. [5]

Como já referido anteriormente, a secção mínima para os condutores de terra deve corresponder ao valor resultante da equação (1), porém quando enterrados devem respeitar a secção mínima indicada na Tabela 6. Para garantir que os condutores de proteção são capazes de escoar a corrente máxima de defeito previsível sem aquecimento que possa pôr em risco a sua conservação e continuidade, a secção deve ser igual ao valor normalizado igual ou imediatamente superior ao valor resultante da aplicação da equação (1). Esta equação é válida apenas para tempos de atuação do dispositivo de corte inferior ou igual a 5s. [5]

$$S = \frac{I \sqrt{t}}{k} \quad (1)$$

Tabela 6. Secção mínima do Condutor de Terra.

Condutor de Terra	Protegido mecanicamente	Não protegido mecanicamente
<i>Protegido contra a corrosão</i>	Aplicam-se as regras definidas para os condutores de proteção	16mm ² se for de Cobre nu ou aço galvanizado
<i>Não protegido contra a corrosão</i>	25mm ² se o condutor for de Cobre 35mm ² se o condutor for de Aço Galvanizado	

As partes não isoladas dos condutores de Terra enterrados no solo são consideradas parte integrante do elétrodo de terra. A ligação entre o condutor de Terra e o elétrodo de terra deve ser feita por forma a que: [5]

- Seja garantido que a Natureza ou o revestimento destes não dê origem a corrosão eletrolítica quando estiverem em contacto metais diferentes;

- Sempre que se receie a possibilidade de corrosão eletrolítica, a zona de ligação entre condutor de Terra e Eléctrodo de Terra deve ser isolada da humidade por meio de uma forte camada protetora, constituída por material impermeável e de longa durabilidade (massa isolante ou tinta plástica, por exemplo);
- Quando a ligação não for enterrada, deve ficar em local não diretamente acessível a pessoas comuns.

O eléctrodo de Terra consiste num corpo condutor ou um conjunto de corpos condutores em contacto com o solo, garantindo uma ligação eléctrica com este. Na Tabela 7 constam os diferentes circuitos de terra que é possível encontrar numa instalação de ligação à Terra. [5]

Tabela 7. Circuitos de Terra. [9]

Terra de Serviço	Circuito de Terra a que são ligados unicamente pontos dos circuitos eléctricos para influenciar as suas condições de exploração, quer limitando o potencial dos condutores em relação ao solo, quer permitindo o funcionamento das proteções. Também designada por terra de alimentação.
Terra de Protecção	Circuito de Terra a que são ligados todos os elementos condutores da instalação nomeadamente elementos sem tensão ou com tensões não perigosas, mas sujeitos a uma passagem furtiva de corrente que provoque diferenças de potencial perigosas e não previstas entre esses elementos. Também designado por Terra das massas.
Terras Distintas	Dois circuitos de Terra da mesma instalação dizem-se “distintos” se o potencial de um deles não sofrer uma variação superior a 5% da que experimenta o outro quando este último é percorrido por uma corrente eléctrica. A definição de terras distintas fixa a condição teórica de não interferência entre duas terras.
Terra Única	Circuito de Terra com função de Terra de protecção e Terra de serviço.

Os eléctrodos de Terra podem ser especialmente concebidos para o efeito ou então serem formados pelas estruturas metálicas enterradas. Contudo devem ser dotados de ligadores robustos, que permitam garantir a continuidade e permanência da ligação. [5]

Os elétrodos de terra podem ser classificados segundo dois tipos, nomeadamente horizontais ou verticais. Estes são geralmente enterrados a uma profundidade de um metro, e dependendo da tipologia é usual encontrar: [8]

- *Eléttodos de Terra horizontais*: Cabos nus, constituídos por condutores macios ou multifilares, com configuração em serpentina ou estrela;
- *Eléttodos de Terra verticais*: Varetas simples ou extensíveis, com configuração isolada ou em paralelo.

Os eléttodos de terra constituídos por anéis colocados nas fundações dos edifícios, aquando a sua construção, traduzem a melhor solução para os eléttodos de Terra. Contudo, podem ser utilizados outros elementos metálicos para a mesma funcionalidade, nomeadamente: [5]

- Tubos ou varetas;
- Fitas, varões ou cabos nus;
- Chapas;
- Armaduras do betão imersas no Solo;
- Outras estruturas enterradas, com exceção de tubagem destinada a passagem de líquidos ou gases inflamáveis.

É aconselhável ligar os elementos condutores da construção ao conjunto condutor de terra – condutores de equipotencialidade de forma a diminuir o valor global da resistência de terra das massas e garantir uma equipotencialidade de todas as massas e de todos os elementos condutores simultaneamente acessíveis. [5]

Os eléttodos de Terra devem ser enterrados nas partes mais húmidas dos terrenos disponíveis, fora de zona de passagem frequente de pessoas, afastados de locais de depósito ou de infiltração de produtos que possam corroer o material uma vez que podem ser constituídos por: aço galvanizado a quente, em aço revestido a cobre, em cobre nu ou cobre revestido a chumbo. [5]

Em nenhum caso, os eléttodos de Terra devem ser constituídos por uma peça metálica mergulhada na água, nem estabelecidos em poças de água ou em rios. Esta proibição não se deve á medíocre condutividade da água, mas sim ao risco de secagem e pelo perigo a que as pessoas poderiam ficar sujeitas, caso entrassem em contacto com a água no momento em que ocorresse um defeito. Assim, o tipo e a profundidade do enterramento

devem ser tais que a secagem do terreno e o gelo não provoquem o aumento do valor da resistência de terra para além do valor prescrito. [5]

Em suma, os principais requisitos para garantir uma eficaz instalação de ligação à Terra são: [5]

- Cumprimento de Normas e regulamentos;
- Baixa impedância de Terra
- Sistema fiável e robusto do ponto de vista mecânico;
- Resistente à corrosão;
- Tempo de vida expectável igual ou superior ao da instalação.

A ocorrência de um defeito na instalação vai originar a circulação de uma corrente de defeito que, como referido anteriormente, deverá ser limitada a sua circulação dentro de uma malha, denominada de malha de defeito. Esta irá depender do esquema de ligação à terra adotado na instalação, que por sua vez irá condicionar as medidas de proteção de pessoas contra contactos indirectos. [4]

2.2.1. ESQUEMA DE LIGAÇÃO À TERRA TT

Um ELT do tipo TT, caracteriza-se pela ligação à Terra de todas as massas dos equipamentos eléctricos interligadas através de condutores de proteção ligadas ao mesmo eléctrodo de terra, e simultaneamente a ligação de um ponto neutro da fonte de alimentação à Terra, conforme ilustrado na Figura 6. [5]

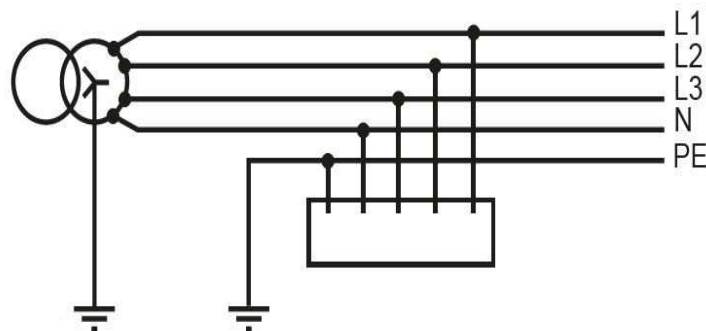


Figura 6. Esquema de Ligação à Terra TT. [3]

Em caso de falha de isolamento, surge um defeito entre Fase-Massa originando uma corrente de defeito que se fecha através dos eléctrodos de Terra, conforme ilustrado na

Figura 7. [1] A malha de defeito apresenta uma impedância formada pelo condutor de fase, condutor de proteção, resistividade do solo, pelos eléctodos de terra e pelos materiais condutores que integram a fonte de energia. [3]

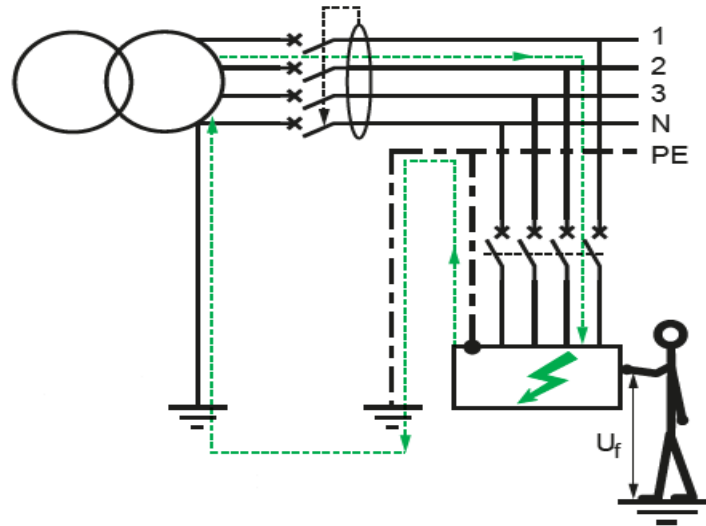


Figura 7. Corrente de defeito no Esquema de ligação à Terra TT. [1]

Contudo, a soma dos eléctodos de terra das massas (R_A) e do neutro (R_B) é muito superior à impedância dos outros elementos constituintes da malha de defeito, desta forma é normalmente assumido o valor de impedância da malha de defeito como o somatório de ambos os eléctodos ($R_A + R_B$), que vão limitar o valor da corrente de defeito. [3]

A tensão de contacto (U_f) não deve ser superior aos valores de tensão limite convencional (U_L) definidos nas RTIEBT, que assumem o valor de 50V de valor eficaz em corrente alternada, ou de 25V em locais classificados como de risco especial. [4]

É possível determinar a tensão de contacto numa instalação de utilização através da aplicação da equação (3): [4]

$$U_f = \frac{R_a}{R_a + R_b} \times U_0 \quad (3)$$

Num esquema de ligação à Terra TT, podem ser utilizados dispositivos de corte automático da alimentação de proteção diferencial e de proteção contra sobreintensidades. Contudo, os dispositivos de proteção sensíveis à corrente diferencial-residual devem ser os escolhidos, comparativamente com os dispositivos de proteção contra sobreintensidades, atendendo que

estes apenas devem ser instalados quando as resistências dos elétrodos de terra tiveram valores muito baixos. [3]

Os aparelhos diferenciais atuam com base na avaliação direta da corrente diferencial residual, ou seja, a corrente que resulta da soma algébrica dos valores instantâneos das correntes que percorrem todos os condutores ativos de um circuito num dado ponto de uma instalação. [12]



Figura 8. Dispositivo interruptor diferencial residual. [12]

No caso de se manifestar um defeito, haverá um desequilíbrio entre as correntes instantâneas que circulam nos condutores ativos, resultando desta situação “diferencial” uma ordem para atuar ao dispositivo de interrupção do circuito. [12]

Perante uma malha de defeito com as características da Figura 7, o dispositivo de proteção a implementar deverá atuar perante uma corrente de defeito igual ou inferior ao valor obtido na equação (4): [4]

$$U = R_t \times I_d \Leftrightarrow I_d = \frac{U}{R_a + R_b} \quad (4)$$

Em que:

- U é a tensão da malha de defeito, que neste caso assumirá o valor de 230V;
- Ra é a resistência do elétrodo de terra das massas;
- Rb é a resistência do elétrodo de terra da fonte de alimentação;
- Id é o valor da corrente de defeito.

Como já referido anteriormente, para este esquema de ligação à Terra deve-se privilegiar a proteção através de dispositivos de proteção diferencial, desta forma é necessário determinar qual a sensibilidade do dispositivo a instalar (equação (5)): [4]

$$I\Delta n \leq \frac{U_L}{R_a} \quad (5)$$

Em que:

- $I\Delta n$ refere a sensibilidade do aparelho de proteção;
- U_L representa a tensão limite convencional.

A sensibilidade do dispositivo diferencial não é influenciada pelo valor da resistência de terra da alimentação, depende apenas do tipo de local, que vai condicionar o valor da tensão de contacto, e da resistência do eléctrodo de terra das massas. [3]

Através da equação (5), também é possível obter o valor máximo da resistência de Terra das massas em função da máxima sensibilidade dos dispositivos diferenciais adotados nos diferentes circuitos de uma instalação elétrica. A Tabela 8 indica o valor máximo da resistência do eléctrodo de terra das massas em função da tensão limite e do maior valor da corrente diferencial estipulada. [4]

Tabela 8. Valor máximo de resistência para o eléctrodo de Terra das massas. [4]

$I\Delta n$	Valor máximo da Resistência do Eléctrodo de Terra (Ω)	
	$U_L = 50V$	$U_L = 25V$
3 A	16	8
1 A	50	25
500 mA	100	50
300 mA	166	83
30 mA	1666	833

O documento do CEI [14] especifica o tempo máximo de atuação (t) dos dispositivos de proteção contra contactos indirectos. O tempo de atuação está descrito na Tabela 9, em função da tensão nominal (U_0) entre fase e Terra. [6]

Tabela 9. Tempo de atuação dos dispositivos de proteção no regime TT. [6]

U_0 (V)	T (s)
$50V < U_0 \leq 120V$	0.3
$120V < U_0 \leq 230V$	0.2
$230V < U_0 \leq 400V$	0.07
$U_0 > 400V$	0.04

2.2.2. ESQUEMA DE LIGAÇÃO À TERRA TN

Num esquema de ligação à Terra TN, todas as massas da instalação devem ser ligadas ao mesmo ponto de ligação à Terra da fonte de alimentação, por meio de condutores de proteção. [3]

O ponto de alimentação ligado à Terra é o ponto Neutro, contudo se este não for acessível deve ser ligado à Terra um condutor de fase, não podendo em caso algum o mesmo ser utilizado como condutor PEN. [3]

Para este tipo de ligação à Terra é recomendado que o condutor de proteção seja ligado à Terra no maior número de pontos possível, por forma a garantir que o seu potencial permaneça o mais próximo possível do potencial da Terra, em caso de defeito. [3]

A proteção contra contactos indirectos através de um regime de proteção TN, pode ser efetuada de diferentes formas: [3]

- TN-C (Figura 9) – As funções de um condutor de Neutro e do condutor de proteção estão combinadas num único condutor, denominado de condutor PEN, na totalidade da instalação;
- TN-S (Figura 10) – As funções de um condutor de neutro (N) e do condutor de proteção (PE) na instalação são distintas na totalidade da instalação;
- TN-C-S (Figura 11) – As funções do condutor neutro e do condutor de proteção estão combinadas num único condutor (PEN) numa parte da instalação e distintas na restante instalação (N+PE).

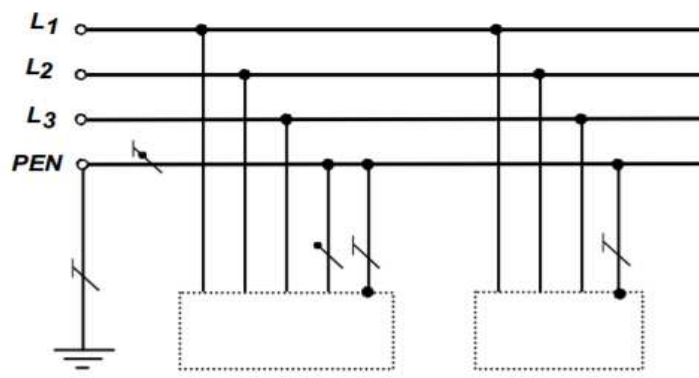


Figura 9. Esquema de Ligação à Terra de TN-C. [3]

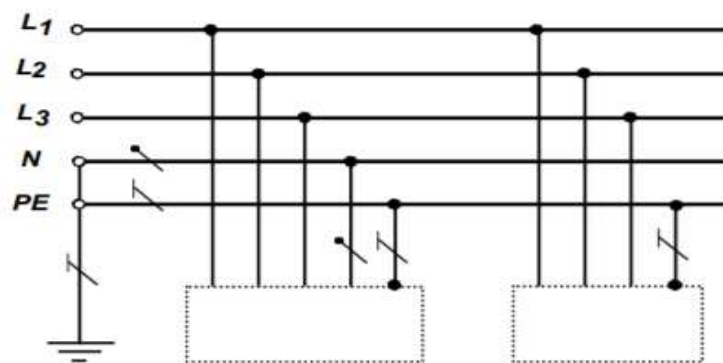


Figura 10. Esquema de ligação à Terra TN-S. [3]

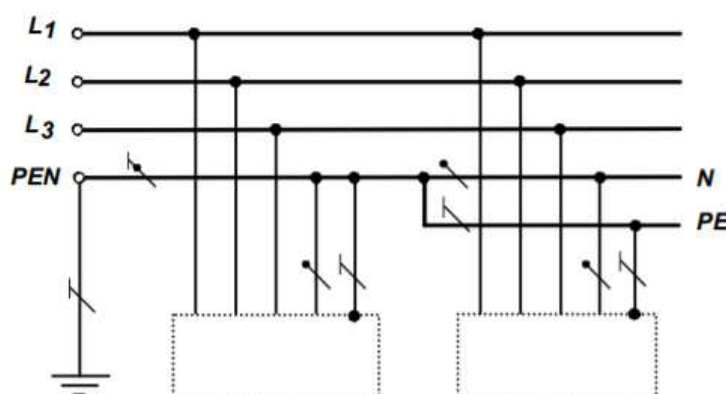


Figura 11. Esquema de Ligação à Terra TN-C-S. [3]

Na prática, não é permitido efetuar este tipo de ligação à terra em circuitos cuja secção seja inferior a 10mm^2 , para condutores de cobre, ou o circuito de alimentação esteja destinado à alimentação de equipamentos “portáteis”. [1]

Os esquemas TN-C e TN-S podem ser utilizados na mesma instalação, desde que o esquema TN-C se encontre a montante do esquema TN-S, como se verifica pela Figura 11. A instalação do esquema TN-S a montante do esquema TN-C, não é permitida pois uma interrupção do condutor de neutro (N) condicionaria o funcionamento do condutor de proteção e neutro (PEN) existente a jusante da instalação, colocando esta em perigo. [1]

A ligação do condutor de neutro (N) às massas dos equipamentos dependem da tipologia do esquema utilizado. Contudo, em qualquer uma das tipologias instaladas uma falha de isolamento conduz a um curto-circuito fase-Neutro. [1]

Um curto circuito Fase-Neutro conduz ao aparecimento de correntes de defeito elevadas, a proteção contra contactos indiretos deve ser feita através de dispositivos de proteção contra

sobreintensidades, sendo que, o tempo de atuação das proteções deve respeitar os valores indicados em [14] e descritos na Tabela 10.

Tabela 10. Tempo de atuação dos dispositivos de proteção no regime TN. [6]

U_0 (V)	T (s)
$50V < U_0 \leq 120V$	0.8
$120V < U_0 \leq 230V$	0.4
$230V < U_0 \leq 400V$	0.2
$U_0 > 400V$	0.1

Na Figura 12, verifica-se o trajeto efetuado pela corrente de defeito num esquema de ligação TN-C. De modo a confirmar se a proteção está a ser efetuada corretamente, em qualquer ponto da malha de defeito o valor da corrente de defeito (I_D) deve ser superior ao valor estipulado do aparelho de proteção. Claro está, que este tipo de verificação, deve ser efetuado aquando a conceção da instalação, através do cálculo das correntes de defeito, que neste caso é facilitado visto que o condutor de proteção e os condutores ativos efetuam o mesmo trajeto. [3]

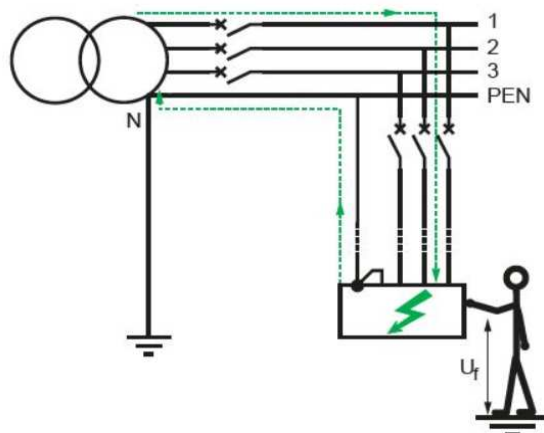


Figura 12. Corrente de defeito no Esquema TN-C. [2]

O método de cálculo passa por determinar a impedância da malha de defeito, cujo valor é aproximado à resistência dos condutores da instalação, como se verifica na equação (6). [4] [12]

$$Z_s \approx R_s = \rho_f \times \frac{l}{S_f} + \rho_{pe} \times \frac{l}{S_{pe}} \quad (6)$$

Assumindo que a secção da fase e do Neutro é a mesma é possível obter uma versão simplificada da equação anterior, apresentada na equação (7). [4] [12]

$$Z_s \approx R_s = \rho \times \frac{l}{S_f} \times (1 + m), \text{ com } m = \frac{S_f}{S_{pe}} \quad (7)$$

Em que:

- ρ - resistividade do condutor, sendo que ρ_f é a resistividade do condutor de fase e ρ_{pe} é a resistividade do condutor de neutro;
- S - Secção do condutor, sendo S_f a secção do condutor de Fase e S_{pe} é a secção do condutor de proteção.

Aplicando a lei de Ohm ao circuito da Figura 12, é possível obter a fórmula da malha de defeito em função da tensão e da corrente de defeito (equação (8)). Contudo, como referido anteriormente num esquema de ligação à terra do tipo TN, é conveniente utilizar dispositivos de proteção contra sobreintensidades, uma vez que existem dois tipos a equação (8) pode assumir diferentes representações, sendo a equação (9) aplicada quando são utilizados disjuntores e a equação (10) aplicada quando são utilizados fusíveis. [4] [12]

$$Z_s = \frac{K \times U_0}{I_d} \quad (8)$$

$$Z_s \leq \frac{K \times U_0}{I_m} \quad (9)$$

$$Z_s \leq \frac{K \times U_0}{I_f} \quad (10)$$

Em que:

- K assume o valor de 0.8 para as instalações elétricas;
- U_0 corresponde á tensão simples nominal da instalação;
- I_d corresponde ao valor da corrente de defeito;
- I_m corresponde à corrente de atuação de disparo magnético do disjuntor;
- I_f corresponde á corrente convencional de funcionamento do fusível.

Quando a impedância da fonte de alimentação e dos cabos tiver um valor elevado, devem ser associados aos dispositivos de proteção contra sobreintensidades dispositivos de proteção diferencial. A aplicação de dispositivos de proteção diferencial traz a vantagem

de não ser necessário verificar a impedância da malha de defeito, principalmente quando a instalação é modificada ou aumentada. [3][4]

Este tipo de solução é aconselhada para a tipologia TN-S, pois pode não ser possível determinar a impedância da malha de defeito com precisão e a corrente de defeito pode ser de tal forma reduzida que coloca em causa o corte automático da alimentação nos tempos regulamentares, referidos na Tabela 10. Já no esquema TN-C não é possível adotar este tipo de dispositivos pois o condutor de proteção está fundido com o Neutro. [3][4]

Para determinar o dispositivo de proteção a integrar a instalação, é preciso determinar qual a tensão de contacto em caso de defeito, aplicando a equação (11). [3]

$$U_c = R_{pe} \times I_d \quad (11)$$

Manipulando a equação (7) e substituído a impedância malha de defeito (Z_s) pela equação (6), obtém-se a fórmula para determinar a corrente de defeito (equação (12)). [12]

$$Z_s = \frac{K \times U_0}{I_d} \Leftrightarrow I_d = \frac{K \times U_0}{Z_s} \Leftrightarrow I_d = \frac{K \times U_0}{\rho \times \frac{l}{s_f} \times (1 + m)} \quad (12)$$

Substituído a corrente de defeito na equação (11) e manobrando a expressão, resulta a equação (13) que nos permite determinar a tensão de contacto, para instalações cuja secção dos condutores não exceda a secção de 120mm².

$$\begin{aligned} U_c = R_{pe} \times I_d &\Leftrightarrow U_c = R_{pe} \times \frac{K \times U_0}{\rho \times \frac{l}{s_f} \times (1 + m)} \\ \Leftrightarrow U_c = \rho \times \frac{l}{S_{pe}} \times \frac{K \times U_0 \times S_f}{\rho \times l \times (1 + m)} &\Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow U_c = K \times U_0 \times \frac{m}{(1 + m)} & \end{aligned} \quad (13)$$

Após determinada a tensão de contacto em caso de defeito deve-se verificar qual o tempo de disparo do dispositivo de proteção para cada uma das curvas de tensão limite de contacto, e se este tempo de disparo cumpre os valores indicados na Tabela 10. [4]

Depois de determinado o tempo de disparo, é necessário averiguar nas curvas de funcionamento dos dispositivos de proteção (Figura 13 e Figura 14) se a corrente de atuação do dispositivo é igual ou inferior á corrente de defeito, num tempo compatível com o obtido nas curvas de segurança. [4]

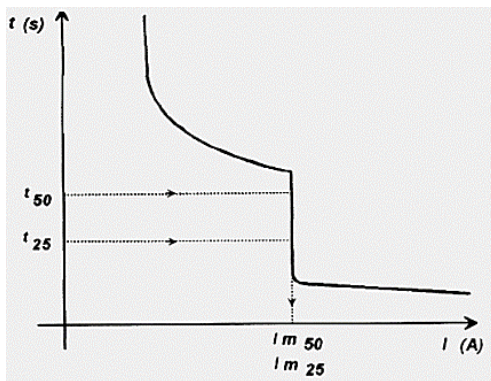


Figura 13. Curva de funcionamento dos disjuntores $I(t)$.

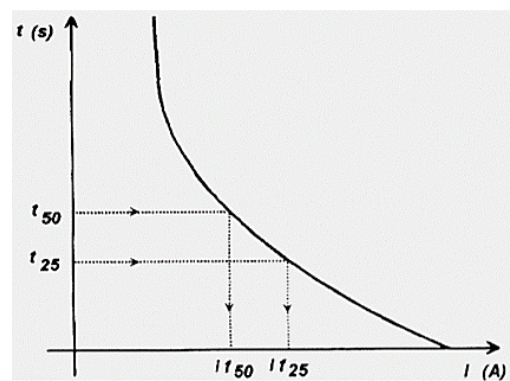


Figura 14. Curva de funcionamento dos fusíveis $I(t)$.

Para este esquema de ligação à Terra é ainda possível determinar o comprimento máximo protegido para determinado circuito. Conjugando a equação (7) e a equação (8) obtém-se o comprimento máximo protegido (equação (14)): [3]

$$\rho \times \frac{l}{S_f} \times (1 + m) = \frac{K \times U_0}{I_d} \Leftrightarrow \rho \times l \times I_d \times (1 + m) = K \times U_0 \times S_f \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow l = \frac{K \times U_0 \times S_f}{\rho \times I_d \times (1 + m)} \quad (14)$$

Como verificado anteriormente, a malha de defeito assume duas equações diferentes dependendo do tipo de dispositivo que integra o circuito. Pelo mesmo princípio, resultam duas equações de comprimento máximo protegido dependendo do tipo de proteção

aplicado ao circuito, sendo a equação (15) para os circuitos protegidos por disjuntor e a equação (16) para os circuitos protegidos por fusíveis. [3] [12]

$$l \leq \frac{K \times U_0 \times S_f}{\rho \times I_m \times (1 + m)} \quad (15)$$

$$l \leq \frac{K \times U_0 \times S_f}{\rho \times I_f \times (1 + m)} \quad (16)$$

2.2.3. ESQUEMA DE LIGAÇÃO À TERRA IT

Num esquema de ligação à Terra IT a fonte de alimentação é isolada do resto da instalação (Figura 15, Figura 16), ou então ligada à terra através de uma impedância de valor elevado (Figura 17, Figura 18), sendo as massas da instalação ligadas diretamente à Terra através do condutor de proteção. [3]

A ligação à terra através de impedâncias permite reduzir as sobretensões da instalação e amortecer as oscilações do potencial da instalação provenientes de fenómenos de ressonância. O valor da impedância deve ser selecionado de modo a não provocar circulação de correntes de defeito de valor elevado a ponto de ser detetada pelos dispositivos de proteção, permitindo assim a ausência de corte ao primeiro defeito. [3]

Limitando a corrente de defeito com o auxílio de uma impedância, além de evitar o corte ao primeiro defeito que surja na instalação, reduz-se o valor da corrente de defeito para que a circulação permanente desta nos condutores de proteção não conduza a aquecimentos exagerados. [3]

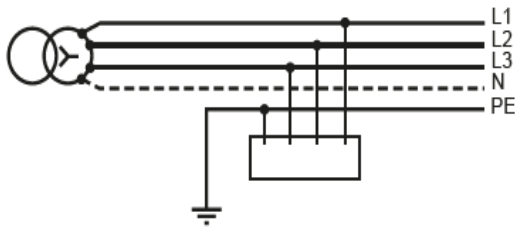


Figura 15. Sistema IT Isolado com condutor de Neutro isolado. [1]

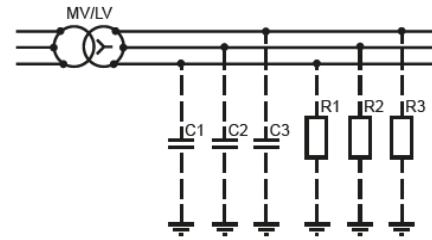


Figura 16. Sistema IT Isolado com Neutro Isolado. [1]

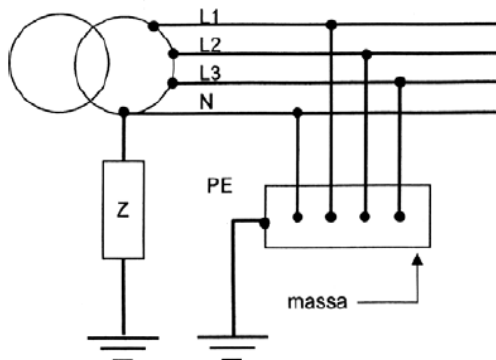


Figura 17. Sistema IT Impedante com Neutro distribuído. [3]

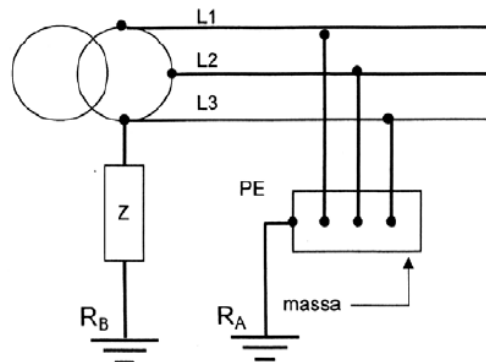


Figura 18. Sistema IT Impedante sem Neutro distribuído. [3]

Para um esquema IT Isolado, é possível representar o mesmo de acordo com a Figura 16, uma vez que, para uma instalação nova, constituída por 1km de condutores novos, a impedância de fuga (impedância capacitiva) à Terra é da ordem dos 3500Ω ($1 \mu\text{F}/\text{km}$) por fase.

Em situação de defeito, a corrente de defeito é limitada pela soma das resistências dos dois elétrodos de Terra e pela impedância de ligação à terra (Z). Aplicando a equação (17), verifica-se que o corte ao primeiro defeito é dispensado pois a tensão de contacto não assume valores superiores à tensão limite de segurança. [3]

$$R \times Id \leq Ul \quad (17)$$

Em que:

- R : somatório das resistências do elétrodo de terra, dos condutores de proteção e da impedância Z ;

- Id: corrente de defeito no caso de um primeiro defeito de isolamento.

Caso ocorra um segundo defeito e o primeiro ainda não esteja resolvido é necessário tomar as medidas adequadas para evitar que ocorram efeitos fisiopatológicos perigosos nas pessoas que possam eventualmente estar em contacto com as partes condutoras da instalação. [3] [12]

As massas podem ser ligadas à Terra individualmente, por grupos ou por conjuntos. Dependendo da sua ligação, caso ocorra um primeiro defeito e este não seja rapidamente sinalizado e eliminado, a instalação fica a funcionar sob um dos seguintes regimes: [3]

- TT: Caso as massas da instalação estejam ligadas à terra individualmente ou por grupos;
- TN: Quando as massas da instalação estão interligadas entre si.

A distribuição do condutor de Neutro pela instalação pode ser ou não efetuada, quando for necessário proceder à sua distribuição deve ser prevista uma deteção contra sobreintensidades em todos os circuitos, devendo provocar o corte de todos os condutores ativos incluindo o condutor de Neutro. Em caso de defeito devem-se verificar as seguintes condições, perante uma instalação de neutro distribuído (equação (18)) ou não (equação (19)): [3]

$$Zs' = \frac{U0}{2 \times Ia} \quad (18)$$

$$Zs = \frac{\sqrt{3} \times U0}{2 \times Ia} \quad (19)$$

Em que:

- Zs – impedância da malha de defeito, constituída pelo condutor de fase e pelo condutor de proteção do circuito;
- Zs' - impedância da malha de defeito, constituída pelo condutor de proteção e o Neutro;
- Ia – corrente que garante o funcionamento dos dispositivos de proteção, no tempo máximo de corte definido para um segundo defeito, Tabela 11;
- U0 – Tensão entre fase e neutro.

Tabela 11. Tempo de atuação dos dispositivos de proteção para um sistema IT. [6]

Tensão Nominal U_0/U (V)	Tempo de Corte t(s)	
	<i>Neutro não distribuído</i>	<i>Neutro distribuído</i>
120/240	0.8	5
230/400	0.4	0.8
400/690	0.2	0.4
580/1000	0.1	0.2

As condições de proteção da instalação num segundo defeito, influenciam a corrente de duplo defeito, porém as condições de cada circuito devem ser determinadas sem se ter em conta as características de outros circuitos. Desta forma, as condições de proteção de um sistema IT são verificadas se o dispositivo de proteção de cada circuito garantir o corte, dentro de um tempo não superior ao indicado na Tabela 11, de uma corrente (IDF) não inferior a metade da corrente de defeito que circularia se a instalação estivesse efetuada segundo um regime TN (equação (20)). [3]

$$IDF = 0.5 \times \frac{U'}{Z_s'} \quad (20)$$

Em que:

- U' – Assume o valor $\sqrt{3} \times U_0$ se o Neutro não for distribuído, ou assume o valor de U_0 se o condutor de Neutro for distribuído.

Se as instalações forem alimentadas diretamente a partir de um posto de transformação, ou através de uma fonte de energia autónoma, é recomendado que o condutor de neutro não seja distribuído, uma vez que na ocorrência de um defeito que afete o neutro, deixa de se verificar as vantagens das instalações de neutro isolado. [3]

A sinalização dos defeitos é conseguida através da instalação de um Controlador Permanente de Isolamento (CPI). Este permite um controlo contínuo do isolamento de uma instalação, sinalizando qualquer redução significativa do nível de isolamento da instalação elétrica, permitindo detetar a avaria antes que se verifique um segundo defeito, evitando desta forma o corte da alimentação. Devem ser concebidos e instalados de forma a que não seja possível modificar a sua regulação, uma vez que deve ser regulado para um valor de resistência de isolamento inferior à resistência de isolamento da instalação elétrica. [3]

O CPI (Figura 19) é um dispositivo que tem um funcionamento semelhante a um ohmímetro (deteção), dotado de relé com contactos auxiliares (sinalização), sendo utilizado como fonte de alimentação uma fonte de tensão contínua ou alternada de baixa frequência (10 a 15Hz), para não interferir com a frequência da alimentação das instalações elétricas.



Figura 19. Controlador Permanente de Isolado.

A resistência de isolamento de uma instalação elétrica deve ser medida entre um condutor ativo e a terra, mediante uma tensão de ensaio aplicada a cada um dos circuitos com os aparelhos de utilização desligados. Na Tabela 12 estão demonstrados os valores mínimos de resistência de isolamento que é possível obter numa instalação elétrica, em função da tensão nominal e da tensão de ensaio. [3]

Tabela 12. Valor mínimos de resistência de isolamento numa instalação elétrica. [3]

Tensão nominal do circuito (V)	Tensão de ensaio em corrente contínua (V)	Resistência de isolamento (MΩ)
$TRR^{(1)}$ e $TRP^{(2)}$	250	≥ 0.25
$U \leq 500 V$	500	≥ 0.5
$U > 500 V$	1000	≥ 1.0

(1) Tensão Reduzida de Segurança; (2) Tensão Reduzida de Proteção

Para a seleção de um CPI devem ser consideradas as seguintes características: [3]

- Valor da corrente admissível;
- Natureza da corrente de medição.

Em algumas aplicações, como em blocos operatórios por exemplo, podem ser prescritos valores específicos de corrente de medição, sendo que neste caso devem ser utilizados CPI's especialmente previstos para essas finalidades. Quanto à natureza da corrente, para

seleção do CPI, existem dois tipos de CPI's, nomeadamente os que aplicam à instalação uma tensão contínua e os que aplicam uma tensão alternada. [3]

Os primeiros fornecem uma indicação da resistência de isolamento, mas as suas indicações podem vir a ser perturbadas caso se verifique um defeito de isolamento a jusante do controlador. Os segundos fornecem o valor da impedância resultante da resistência de isolamento e das reactâncias de fuga da instalação, para reduzir a influencia destas reactâncias os CPI's utilizam uma frequência muito inferior á da instalação controlada. [3]

Analisando a Figura 20., onde consta um esquema de ligação à Terra IT Impedante com o Neutro distribuído, ligado à terra através de uma impedância de valor Z . Na ocorrência de um defeito na Massa 1, a corrente de defeito fecha-se pelo condutor de Neutro e o condutor PE, desta forma não é capaz de originar uma queda de tensão aos terminais da impedância Z , fazendo atuar o CPI. [3]

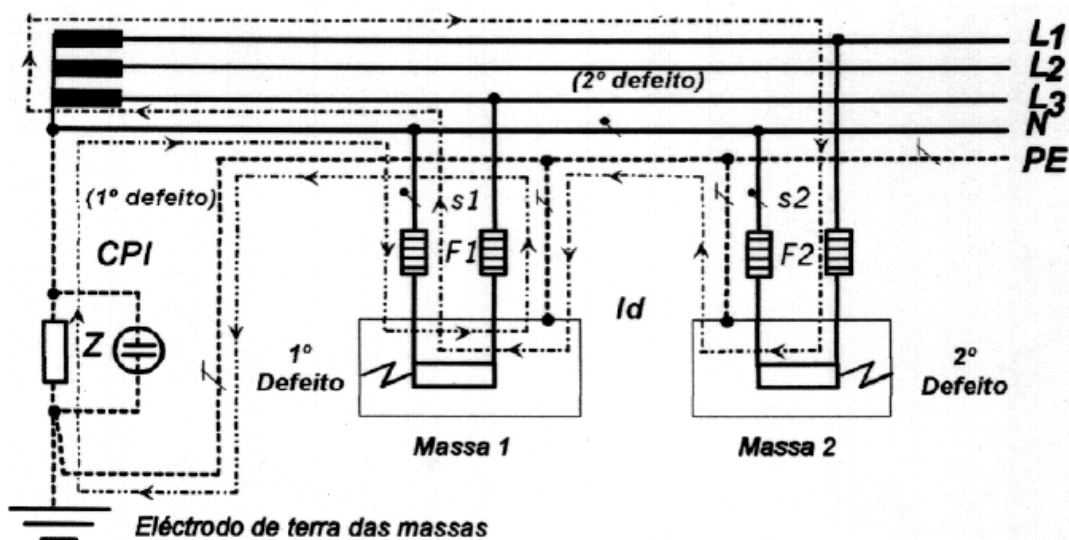


Figura 20. Segundo defeito numa instalação IT Impedante com CPI.

A ocorrência de um segundo defeito envolvendo um condutor de fase, um defeito na massa 2 de acordo com a Figura 20, a sinalização no CPI seria transitória uma vez que nesta situação é suscetível de surgir valores de tensão de contacto perigoso, conduzindo obrigatoriamente ao corte, perdendo-se as vantagens de instalação de um regime IT. [3]

Nesta situação, há necessidade de utilizar proteção contra sobre intensidades no condutor de Neutro. Caso este não seja protegido e a secção dos condutores de alimentação ao

equipamento 1 for inferior à secção dos condutores de alimentação do equipamento 2, num segundo defeito a corrente seria interrompida pelo dispositivo de proteção do circuito 2. [3]

Num primeiro defeito de isolamento à Terra, a corrente de defeito é limitada pela impedância de fugas da instalação colocada entre a fonte e a Terra da instalação. Durante o defeito a corrente no elétrodo RnA, de acordo com a Figura 21, é a soma da corrente capacitiva que circula pelas impedâncias de fuga das fases que não se encontram em situação de defeito.

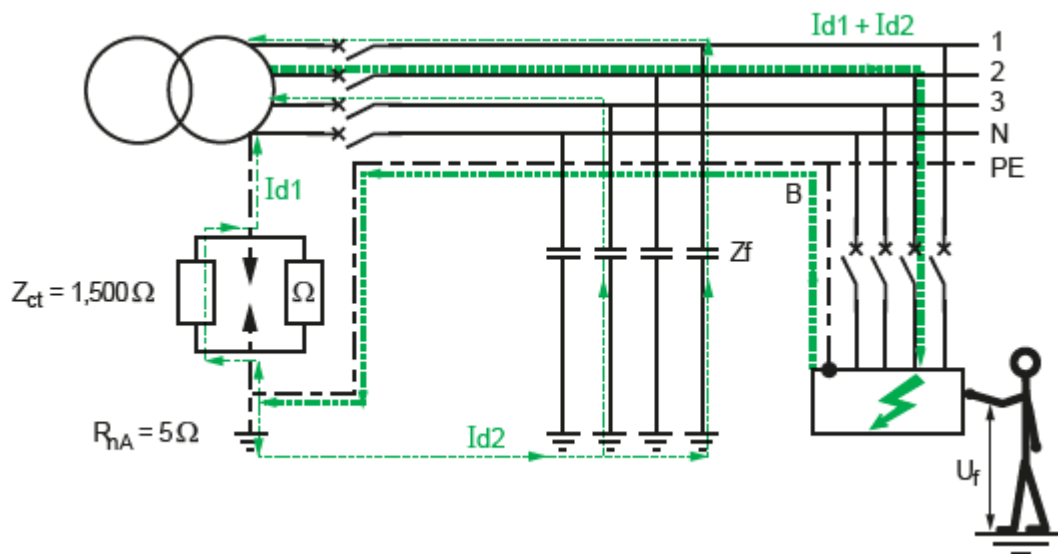


Figura 21. Esquema de Ligação à Terra IT com CPI. [1]

Para uma instalação nova, constituída por 1km de condutores novos, a impedância de fuga (impedância capacitiva) à Terra é da ordem dos 3500 Ω (1 μF/km) por fase. Em condições de funcionamento normal, a corrente capacitiva de corrente de fuga à Terra por fase assume o valor de 66mA (equação (21)). [3]

$$\frac{U_0}{Z_f} = \frac{230}{3.500} = 66 \text{ mA} \quad (21)$$

As tensões nas fases que não se encontram com defeito têm um incremento de $\sqrt{3}$ relativamente à tensão em vazio (U_0) como verificar pela Figura 22, sendo que a corrente capacitiva será afetada pelo mesmo incremento. [1]

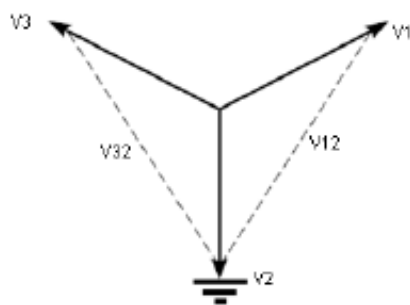


Figura 22. Soma vetorial das tensões em caso de defeito.

As correntes estão desfasadas entre si de 60° , desta forma quando somadas vectorialmente (Figura 23) resulta um total de corrente de defeito (I_{d2}) com o valor de $3 \times 66 = 198 \text{mA}$. Para uma resistência de terra com o valor de 5Ω , a tensão de contacto que surge no equipamento com defeito de isolamento assume o valor de $5 \Omega \times 198 \text{mA} = 0.99 \text{V}$, valor tal que não representa qualquer perigo. [1]

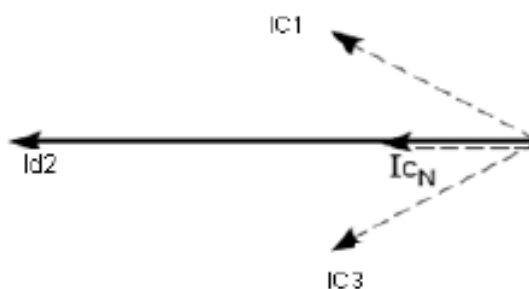


Figura 23. Soma Vetorial das Correntes.

A corrente que aparece na malha de defeito, é a soma vetorial da corrente I_{d1} (153mA) e I_{d2} (198mA). Desde que as massas dos equipamentos estejam ligadas à Terra a impedância colocada entre o neutro e a Terra não tem interferência com a tensão de contacto. [1]

Quando se verifica a existência de um segundo defeito, numa outra fase ou até mesmo no condutor de neutro, torna-se imperativo o corte da alimentação. Nesta situação, o dimensionamento dos dispositivos de proteção das pessoas contra contactos indirectos vai depender de todas as massas, ligadas ao mesmo elétrodo de terra. [5]

Na Figura 24, está representado um circuito da malha de defeito, com todas as massas equipotencializadas por um único condutor de proteção e ligadas ao mesmo elétrodo de Terra, onde se apresenta uma situação de duplo defeito. [3]

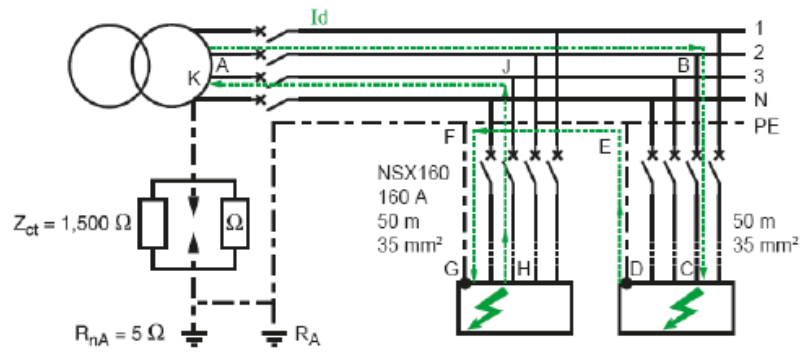


Figura 24. Malha de segundo defeito num esquema IT Impedante. [1]

Avaliando a malha de defeito utilizando os pontos sinalizados na Figura 24, a resistência da malha de defeito nos pontos [FGHJ] assume o valor indicado na equação (22). [3]

$$R[FGHJ] = 2 \times R[JH] = 2 \times \rho \times \frac{l}{Sf} = 2 \times 0.0237 \times \frac{50}{35} = 67.7 \text{ m}\Omega \quad (22)$$

Desta forma a impedância da malha de defeito assume o valor de $2 \times 67.7 = 135 \text{ m}\Omega$. Por sua vez a corrente de defeito toma o valor resultante da equação (23). [3]

$$Id = \frac{0.8 \times \sqrt{3} \times 230}{135 \times 10^{-3}} = 2361 \text{ A} \quad (23)$$

Perante uma corrente de curto circuito elevada, a proteção das pessoas contra contactos indiretos deve ser conseguida através de dispositivos de proteção contra sobreintensidades, disjuntores ou fusíveis.

Tal como referido anteriormente, a ligação das massas da instalação vai influenciar o comportamento da instalação em caso de segundo defeito. Como verificado no parágrafo anterior, para uma ligação idêntica à Figura 24 os procedimentos de cálculo dos dispositivos de proteção são iguais aos considerados no esquema TN. [3]

Perante situações em que existe mais do que um elétrodo de Terra na instalação e a ligação das massas à terra é efetuada por grupos, como ilustrado na Figura 25, tal como a mesma indica e já fora anteriormente referido, a proteção contra contactos indiretos, ao segundo defeito é garantida pelas mesmas condições indicadas para o esquema TT. [3]

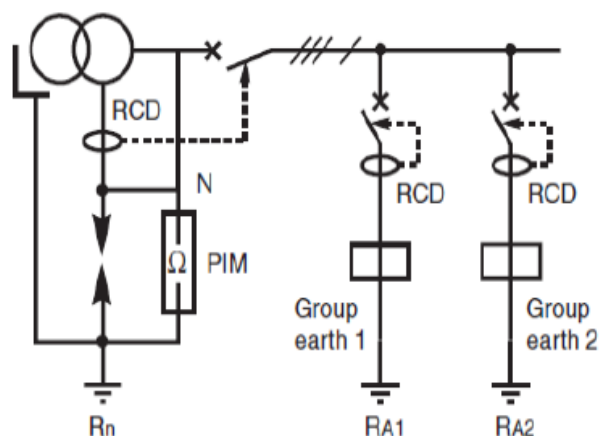


Figura 25. Sistema IT com as massas ligadas à Terra por grupos.

2.3. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E SELETIVIDADE

As instalações devem ser dotadas de medidas de proteção para que se garanta a segurança das pessoas e das partes constituintes da instalação. Na seleção e aplicação das mesmas devem ser tomadas precauções para evitar que diferentes medidas de proteção possam influenciar-se ou anular-se mutuamente. [5]

Para que o sistema de proteção atinja a finalidade a que se propõem é necessário que se verifiquem os seguintes requisitos: [6]

- *Seletividade*: Capacidade de selecionar a parte danificada da instalação e retirá-la de serviço, sem perturbar os restantes circuitos;
- *Sensibilidade*: faixa de funcionamento e não funcionamento do dispositivo de proteção;
- *Exatidão e Segurança na Proteção*: Garante ao sistema de proteção uma elevada confiabilidade operativa.

Os condutores ativos duma instalação devem ser protegidos contra sobretensões, nomeadamente contra sobrecargas e curto circuitos, por um ou mais dispositivos de corte automático devendo a proteção contra as sobrecargas ser coordenada com a proteção contra curto-circuitos. Contudo, um circuito protegido contra sobrecargas pode estar igualmente protegido contra curto-circuitos se a amplitude de corrente for da mesma ordem de grandeza. [6]

Os dispositivos de proteção devem ter capacidade de interromper qualquer sobre intensidade de valor não inferior ao da corrente de curto circuito no ponto em que estão instalados. Na Tabela 13 estão indicados os dispositivos que permitem a proteção

simultânea contra sobrecargas e curto circuitos, assim como os que apenas permitem a proteção contra curto circuitos. [6]

Tabela 13. Dispositivos de proteção contra sobrecargas e curto circuitos. [5]

Sobrecargas e Curto Circuitos	Curto Circuitos
Disjuntores com disparo por corrente de sobrecarga	Disjuntores com disparo por valor máximo de corrente
Disjuntores com disparo por valor máximo de corrente	Fusíveis do tipo gG ou aM
Disjuntores associados a fusíveis	
Fusíveis do tipo gG	

A proteção de circuitos contra sobrecargas, consiste na aplicação de dispositivos de proteção com característica de funcionamento de tempo inverso, podendo ter um poder de corte inferior à corrente de curto circuito no ponto em que vai ser instalado. Estes dispositivos de proteção devem ser capazes de interromper correntes antes que estas provoquem aquecimentos prejudiciais ao isolamento, à canalização e a outros elementos colocados nas proximidades das canalizações. [6]

Os dispositivos de proteção contra sobrecargas devem satisfazer simultaneamente duas condições: [5]

1) A corrente estipulada para o dispositivo de proteção (I_n) deve ser superior à corrente de serviço do circuito (I_B) e inferior à corrente máxima admissível pela canalização (I_Z)

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

2) A corrente convencional de funcionamento (I_2) do dispositivo de proteção deve ser inferior ou igual a 1.45 vezes a corrente máxima admissível da canalização (I_Z).

$$I_2 \leq 1.45 \times I_Z$$

Dependendo do dispositivo de proteção a corrente I_2 pode assumir o valor da corrente de funcionamento no caso de ser aplicado um disjuntor, ou assumir o valor da corrente de fusão caso sejam aplicados fusíveis do tipo gG, para os tempos convencionais de funcionamento. Assim, a corrente I_2 pode ser decomposta da seguinte forma:

$$I2 \leq 1.45 \times IZ \Leftrightarrow k2 \times In \leq 1.45 \times IZ \Leftrightarrow k3 \times In \leq IZ \Leftrightarrow In \leq \frac{IZ}{k3}$$

Em que:

- k2 – Depende da natureza do dispositivo de proteção, conforme Tabela 14. Representa a relação entre a corrente I2 que garante o funcionamento efetivo do dispositivo de proteção e a corrente estipulada para o dispositivo de proteção In;
- k3 – k2 / 1.45.

De uma forma geral, dependendo do dispositivo de proteção, é necessário verificar as condições indicadas na Tabela 14, para cumprir a proteção contra sobrecargas. [3]

Tabela 14. Condições a verificar para dispositivos de proteção contra sobrecargas. [6]

	Disjuntores	Fusíveis
<i>Condições a verificar</i>	$IB \leq In \leq IZ$	$IB \leq In$ $I2 \leq 1.45 \times IZ$
<i>Valores de k2</i>	k2 = 1.45 (para disjuntores modulares) k2 = 1.30 (para outros tipos de disjuntores)	Dependendo do calibre: k2 = 1.6 para $In \geq 16A$ k2 = 1.9 para $4A < In < 16A$ k2 = 2.1 para $In \leq 4A$

Tal como na proteção contra sobrecargas, na proteção contra curto circuitos o tempo de corte da corrente de curto circuito, em qualquer ponto do mesmo, deve ser inferior ao tempo os condutores demoram a atingir a sua temperatura máxima admissível, de modo a evitar danos no isolamento. [5]

Para os curto circuitos de duração não superior a 5s, o tempo necessário para que uma corrente de curto circuito eleve a temperatura dos condutores até ao seu máximo admissível, pode ser determinado por aproximação, através da equação (24). [3]

$$\sqrt{t} = k \times \frac{S}{I_{cc}} \quad (24)$$

Em que:

- t – tempo em segundos;

- S –secção dos condutores, em milímetros quadrados;
- I_{cc} – Corrente de curto circuito no ponto mais afastado da instalação;
- k – valor constante que varia de acordo com o tipo de condutor e isolamento.

Partindo da equação (24) é possível determinar qual a secção mínima para os condutores em função da proteção contra curto circuitos, resultando a equação (25):

$$S = \frac{\sqrt{t} \times I_{cc}}{k} \quad (25)$$

O poder de corte associado ao dispositivo de proteção não pode ser inferior á corrente de curto circuito no ponto em que este é instalado, com exceção dos casos em que exista a montante um dispositivo com um poder de corte apropriado. [6]

Nestas situações as características dos dois dispositivos devem ser coordenadas, de forma a que, a energia suportada pelo dispositivo situado a montante seja superior à energia suportada pelo dispositivo a jusante, permitindo atuar o dispositivo de proteção mais próximo. [5]

O exemplo retirado de [5], ilustra a coordenação entre dois dispositivos de proteção contra curto circuitos, nomeadamente um fusível e disjuntor. A Figura 26 apresenta as curvas de funcionamento dos dois dispositivos de proteção. [5]

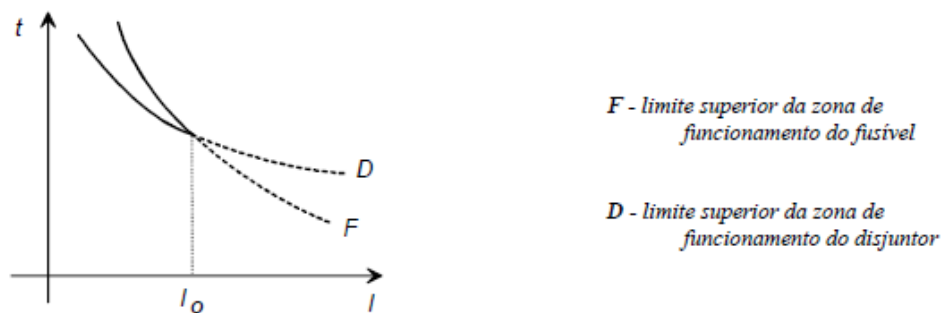


Figura 26. Curvas de funcionamento dos disjuntores e fusíveis. [5]

As curvas de funcionamento intersectam-se num ponto denominado por I₀. Para correntes de curto circuito inferiores a I₀ o disjuntor atua primeiro, quando as correntes de curto circuito são superiores a I₀ atua o fusível, com um tempo de funcionamento menor do que o tempo de funcionamento do disjuntor. [5]

As características de funcionamento dos dispositivos de proteção, a aplicar numa instalação, devem ser seleccionadas de modo a que se coloque fora de serviço apenas a parte da instalação onde ocorre o defeito. [5]

A seletividade entre os dispositivos de proteção apenas é obtida por comparação das características de funcionamento, devendo verificar-se que, para qualquer corrente de defeito, o tempo de atuação do dispositivo colocado a montante é superior ao do dispositivo a jusante. [5]

Quando no mesmo circuito estiverem empregues dois dispositivos de proteção de natureza diferentes é sempre necessária a comparação das suas características reais de funcionamento. [5]

Para garantir a seletividade de proteção contra sobrecorrentes, quando são aplicados dispositivos de proteção da mesma natureza, deve-se considerar uma relação entre as correntes estipuladas de funcionamento de 1,6. Ou seja, quando se aplica a montante um disjuntor com uma corrente de funcionamento de 10A o disjuntor a aplicar a jusante deverá ter uma corrente de funcionamento de: $10 \times 1,6 = 16A$. [11]

A selectividade pode ser parcial ou total, dependendo do tempo de funcionamento e e da corrente de defeito. A Figura 27 representa uma selectividade parcial, em que o Disjuntor D1 e D2 têm um tempo de funcionamento igual para correntes de defeito diferentes. Na Figura 28 está ilustrada uma selectividade total, em que os disjuntores aplicados apresentam tempos de funcionamento diferentes para correntes de defeito diferentes. [11]

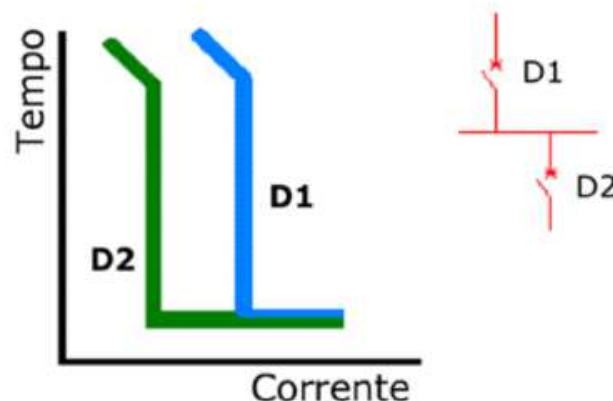


Figura 27. Seletividade Parcial entre Disjuntores. [11]

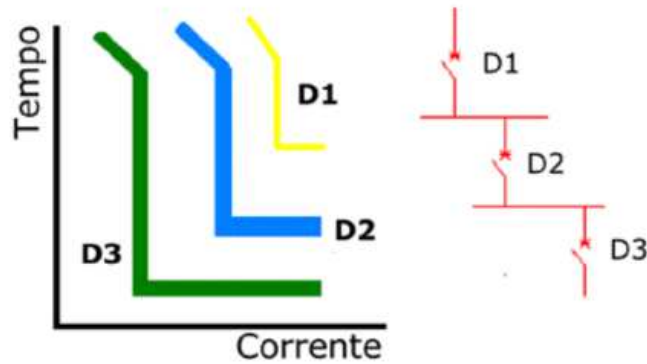


Figura 28. Seletividade Total entre disjuntores. [11]

Como já referido anteriormente, os dispositivos diferenciais podem ser aplicados não só como medida de proteção complementar para os contactos directos, mas também como medida de proteção contra contactos indirectos determinando o valor máximo da resistência do eléctrodo de terra para que os dispositivos diferenciais atuem nos limites regulamentares.

Os dispositivos diferenciais podem ser incorporados ou combinados com um dispositivo de proteção contra as sobreintensidades, devendo respeitar as regras já referidas anteriormente para os dispositivos de proteção contra sobrecargas e curto circuitos. [5]

Quando um dispositivo diferencial não estiver combinado nem incorporado com um dispositivo de proteção contra sobreintensidades, devem verificar-se simultaneamente as seguintes condições: [5]

- A proteção contra sobreintensidades deve ser garantida por dispositivos de proteção adequados;
- O dispositivo deve poder suportar, sem danos, as solicitações térmicas e mecânicas suscetíveis de ocorrerem em caso de curto circuito a jusante do local onde o dispositivo está instalado;
- O dispositivo não pode ser danificado em condições de curto circuito, mesmo que atue perante um desequilíbrio de correntes ou um escoamento de correntes para a Terra.

As solicitações térmicas que atuam sobre os dispositivos diferenciais, dependem da corrente de curto circuito presumida no local onde está instalado o dispositivo. Os dispositivos que não estejam incorporados nem combinados com os dispositivos de proteção contra sobreintensidades, são designados de interruptores diferenciais. [5]

Estes dispositivos apresentam um poder de corte normalmente inferior à corrente de curto-circuito presumida naquele ponto da instalação. De acordo com [15], estes dispositivos devem ter um poder de corte não inferior ao maior dos seguintes valores: [5]

- Dez vezes a corrente estipulada do interruptor ($10I_n$);
- 500A.

Quando numa instalação elétrica, existirem diferentes dispositivos diferenciais colocados em série, é necessário assegurar a coordenação entre dispositivos diferenciais de modo a que em caso de defeito apenas a parte da instalação afetada fique fora de serviço mantendo as restantes em normal funcionamento. [5] [10]

Para que sejam garantidas as condições de seletividade e coordenação, entre dois dispositivos diferenciais, devem satisfazer simultaneamente as seguintes condições:

- A curva de características de não funcionamento tempo/corrente do dispositivo diferencial colocado a montante deve situar-se acima da curva de característica de funcionamento tempo/corrente do dispositivo situado a jusante;
- A corrente diferencial residual de funcionamento estipulado para o dispositivo que está colocado a montante deve ser superior à do dispositivo colocado a jusante.

Quando numa instalação existirem mais do que um dispositivo diferencial, a sua instalação deve ser efetuada de acordo com uma das seguintes situações: [5]

- Colocação dos dispositivos na origem de cada parte da instalação, sendo as instalações divididas em quantas partes forem necessárias (Figura 29);
- Colocação dos dispositivos em série, garantindo a seletividade entre eles.

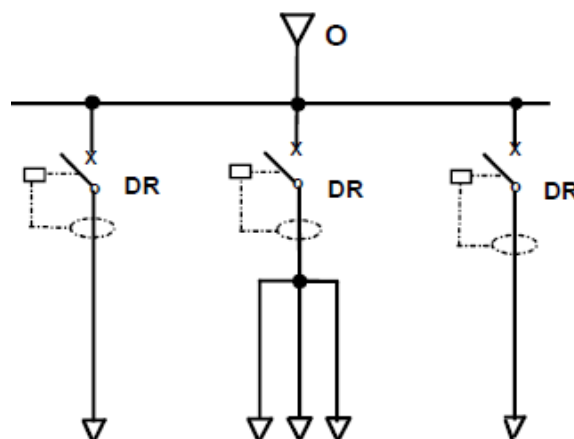


Figura 29. Aplicação de dispositivos diferenciais para cada parte da instalação. [5]

A seletividade dos dispositivos diferenciais pode ser total ou parcial. É considerada uma seletividade total, quando as condições de funcionamento forem respeitadas para qualquer valor de defeito, disparando apenas o dispositivo que se encontra mais a jusante. [5]

A Figura 30 representa um exemplo de seletividade total, assumindo que o dispositivo A se encontra a jusante e o dispositivo B se encontra a montante, verifica-se que as curvas de funcionamento dos dispositivos diferenciais não se intersectam e a corrente residual do dispositivo B é superior à do dispositivo A. [5]

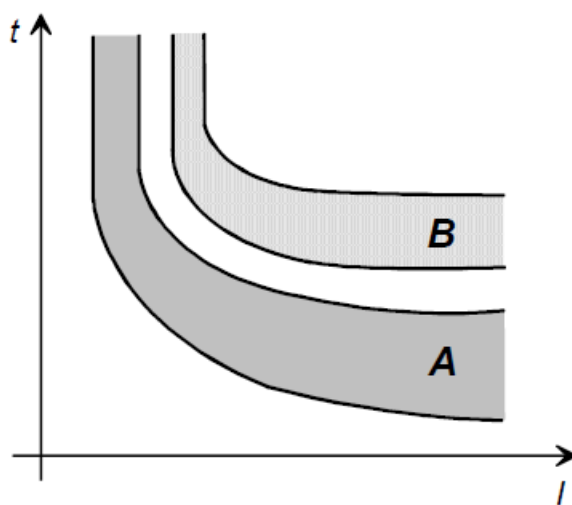
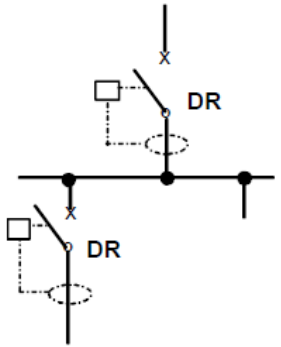
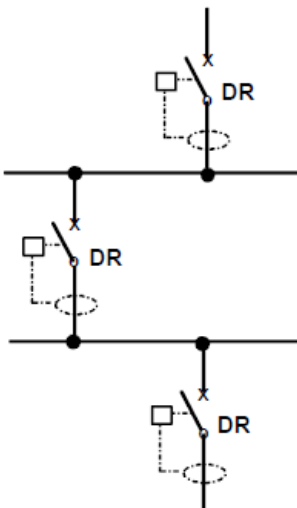
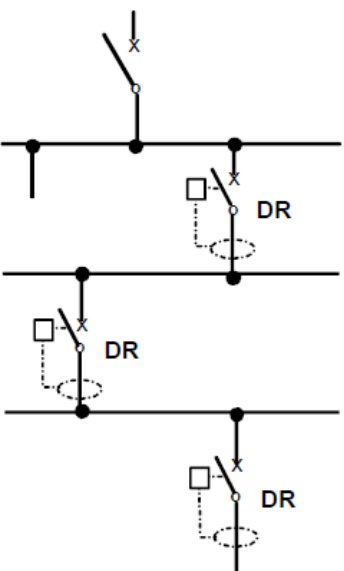


Figura 30. Curvas de atuação dos dispositivos diferenciais do tipo A e B. [5]

A instalação apresenta seletividade total, quando as condições de funcionamento forem respeitadas para qualquer valor de corrente de defeito, disparando assim o dispositivo colocado mais próximo do defeito. Esta pode também ser conseguida, através da instalação de um dispositivo retardado em relação ao que se encontra colocado a jusante, verificando-se na instalação diferentes níveis de seletividade, ilustrados na Tabela 15. [5]

A seletividade parcial numa instalação verifica-se quando as condições de funcionamento apenas funcionarem perante determinados valores de corrente de defeito, podendo disparar simultaneamente mais do que um dispositivo diferencial. [5]

Tabela 15. Seletividade entre dispositivos diferenciais. [5]

<p><i>Dois Níveis de Seletividade</i></p>		<p><u>A montante:</u> Disjuntor Diferencial $I_{\Delta n} = 300\text{mA}$ Tipo S</p> <p><u>A jusante:</u> Disjuntor Diferencial $I_{\Delta n} = 30\text{mA}$</p>
<p><i>Três Níveis de Seletividade</i></p>		<p><u>Mais a montante:</u> Disjuntor Diferencial $I_{\Delta n} = 1\text{A} / t=200\text{ms}$</p> <p><u>Intermédio:</u> Disjuntor Diferencial $I_{\Delta n} = 300\text{mA} / t=50\text{ms}$</p> <p><u>A jusante:</u> Disjuntor Diferencial $I_{\Delta n} = 30\text{mA}$</p>
<p><i>Quatro Níveis de Seletividade</i></p>		<p><u>“Origem” da instalação:</u> Disjuntor diferencial ou não $I_{\Delta n} = 1\text{A} / t= 1\text{s}$</p> <p><u>Mais a montante:</u> Disjuntor Diferencial $I_{\Delta n} = 300\text{mA} / t=200\text{ms}$</p> <p><u>Intermédio:</u> Disjuntor Diferencial $I_{\Delta n} = 100\text{mA} / t=50\text{ms}$</p> <p><u>A jusante:</u> Disjuntor Diferencial $I_{\Delta n} = 30\text{mA}$</p>

A Figura 31 ilustra um exemplo de seletividade parcial, onde é colocado no início da instalação um disjuntor diferencial de média sensibilidade (MS) e na alimentação de grupos de circuitos são colocados dispositivos de alta sensibilidade (AS). Em caso de

defeito, apenas dispara o dispositivo de alta sensibilidade, contudo para correntes de defeito elevadas, pode causar o disparo do dispositivo colocado a montante. [5]

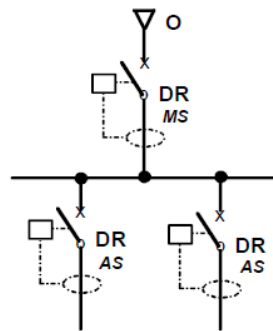


Figura 31. Seletividade Parcial. [5]

Na Figura 32 verifica-se outro exemplo de seletividade parcial, em parte idêntico ao da Figura 31, mas aplicando na mesma instalação coordenação entre dispositivos de média/média sensibilidade e média/alta sensibilidade. [5]

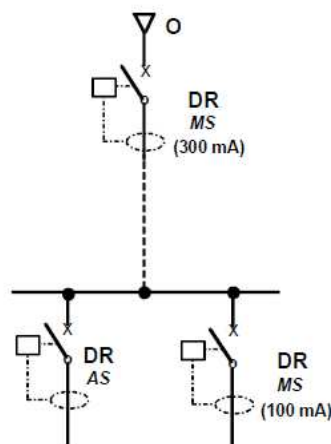


Figura 32. Seletividade parcial.

2.4. CONCLUSÃO

Os métodos de proteção de pessoas contra elementos sob tensão dependem do tipo de contacto. Para contactos diretos os métodos de proteção consistem, de uma forma geral, em isolar o elemento sob tensão. A proteção contra contactos indiretos passa por garantir o corte automático da alimentação, contudo podem ser aplicados outros métodos como, por exemplo, proteção com recurso a locais não condutores e aplicação de equipamentos de Classe II de isolamento.

O corte automático da alimentação, deve ser garantido independentemente do tipo de contacto. É considerada uma medida de proteção complementar aos contactos diretos, garantindo que no caso de falha dos primeiros métodos de proteção a pessoa continua protegida.

Numa instalação, podemos considerar dois níveis de proteção. O primeiro, consiste em colocar as massas condutoras dos equipamentos ao potencial da terra, através de ligações equipotenciais na instalação, o segundo consiste no corte automático da alimentação, num tempo de atuação limite dependendo do ELT aplicado.

Os circuitos de Terra existentes na instalação dependem dos elementos que são ligados, podendo existir circuitos com terras distintas ou terra única. A implementação de um ELT, consiste em criar uma malha de defeito, limitando a corrente a circular na mesma em caso de defeito.

O ELT a implementar numa instalação deve ser escolhido em função das características de exploração da mesma, deve-se ter em conta os custos de implementação e de exploração para cada um dos esquemas existentes (TT, TN e IT).

O tempo de atuação das proteções assim como as proteções a aplicar, dependem do ELT escolhido. Ainda assim é importante garantir que existe seletividade entre os dispositivos de proteção, sejam eles de proteção diferencial ou de proteção contra sobreintensidades.

A seletividade e coordenação entre os dispositivos de proteção, deve garantir que em caso de defeito apenas fique fora de serviço o troço onde existe o defeito. Este parâmetro é importante para que não fique toda a instalação, ou um troço da instalação fora de serviço.

3. FERRAMENTA DESENVOLVIDA

3.1. ELABORAÇÃO

Para desenvolvimento da ferramenta, foi utilizada linguagem VBA (*Visual Basic*) associada à ferramenta Excel da *Microsoft*. A ferramenta é composta por 6 folhas, nomeadamente:

- Folha de Rosto;



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

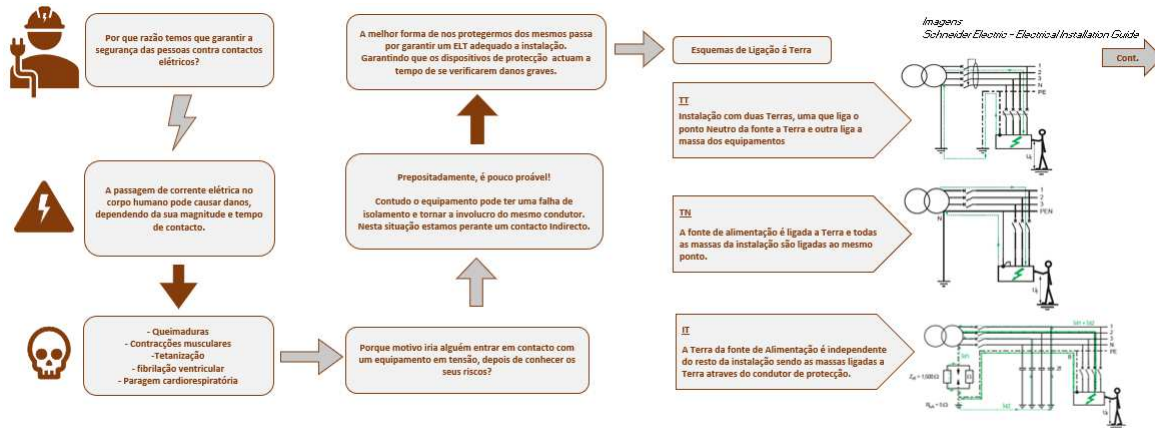
Guia interativo na proteção de pessoas em instalações elétricas industriais

Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia
Candidato: Mariana Sofia Borges Matos, Nº 1100529, 1100529@isep.ipp.pt
Orientação científica: José António Beleza Carvalho, jbc@isep.ipp.pt

Outubro/2019

Iniciar

• Guia;



• Ferramenta;

Esquema TT

Esquema TN

Esquema IT

Guardar Dados

Apagar Dados

Apagar Notas

• Dados (Gravação dos dados);

Ligação	Alimentação	Potencia (kW)	Comprimento (m)	Secção	Is	In	Iz	Icc	ELT

- Secção dos Cabos com a respetiva corrente máxima admissível (Base de Dados);
- Calibre das Protecções (Base de dados);
- Layout (Esquema).

Foram desenvolvidas sete macros distintas, sendo que cada uma terá a seguinte função:

- Mudar de folha;
- Dimensionamento para ELT TT;

- Dimensionamento para ELT TN;
- Dimensionamento para ELT IT;
- Guardar dados na folha “Dados”;
- Apagar dados;
- Apagar as Notas.

Inicialmente são pedidos alguns *inputs* ao utilizador, nomeadamente:

- Tipo de canalização: Foram consideradas apenas três tipos de alimentações, iluminação, quadros ou equipamentos tendo em conta o tipo de cargas existentes em instalações industriais;
- Tipo de alimentação: Monofásica ou trifásica;
- Comprimento da canalização: Distância entre a origem e o ponto de consumo;
- Tipo de condutor: Cobre ou Alumínio;
- Tipo de ambiente da Instalação: Húmido ou Seco, uma vez que estes valores alteram a tensão limite de contacto.

A secção dos condutores é calculada automaticamente tendo em conta os *inputs* fornecidos. Dado que os ambientes industriais, estão sujeitos a alterações frequentes, não só da disposição dos equipamentos, mas também na alteração dos mesmos, é preferível, para passagem das infraestruturas, que estas não sejam embebidas em elementos construtivos. Como tal, deve ser dada preferência a caminhos de cabos (Método de referencia E ou F das [5]) ou tubagem embebida fixa por abraçadeiras (Método de Referência B das [5]).

Tendo em conta estes dois métodos de instalação das canalizações, verifica-se que para a mesma secção e mesmo tipo de condutor a corrente máxima admissível pelo cabo segundo o método de instalação B (Tabela 16) é inferior ao método de instalação E (Tabela 17), desta forma o resultado da secção é obtido para um método de instalação B, sendo a solução mais desfavorável.

Tabela 16. Quadro 52-C4. [5]

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Método de referência		
	A	B	C(*)
<i>Condutores de cobre</i>			
1,5	17,0	20,0	22

Tabela 17. Quadro 52-C11. [5]

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Cabos multicondutores		Cabos monocondutores				
	Dois condutores carregados ⁽¹⁾	Três condutores carregados ⁽¹⁾	Dois condutores carregados	Três condutores carregados em triângulo	Três condutores carregados em esteira		
					Sem afastamento ⁽²⁾	Com afastamento ⁽²⁾	
						Horizontal	Vertical
Mét. ref. ^a .⇒	E	E	F	F	F	G	G
Coluna.⇒	1	2	3	4	5	6	7
1,5	26	23	-	-	-	-	-

Para aplicação do esquema de ligação à terra TT, é inicialmente pedido que seja introduzido o valor da resistência à Terra. Caso não seja conhecido, determinado um valor de resistência de terra tendo em conta a tensão limite de contacto e a tensão de serviço.

Para aplicação do Esquema TN, foi aplicada a equação (7) para determinar a impedância da malha de defeito. Depois de determinar a malha de defeito, desdobrando a equação (8) é possível determinar a corrente de defeito que circula na malha.

A equação (14), permite verificar qual o comprimento máximo protegido com determinado dispositivo de proteção. Será indicado nas notas, se a distancia é abrangida pela proteção aplicada ou não.

Inicialmente é pedido ao utilizador que seja introduzida a tipologia do sistema IT implementado, isolado ou impedante. De seguida é determinada a corrente de primeiro defeito, aplicando a equação (16), onde será determinada a corrente de duplo defeito aplicando a equação (23).

O cálculo das proteções a implementar num sistema IT depende do modo de ligação das massas à terra. Esta informação também deverá ser inserida pelo utilizador, através de uma caixa de diálogo.

Foi ainda desenvolvida uma aplicação que permite a gravação dos dados para efetuar comparações entre simulações diferentes. Para testar a ferramenta desenvolvida, foram efetuadas as seguintes simulações:

Tabela 18. Simulações.

	Tipo de Alimentação	Características	TT	TN	IT
<i>Simulação 1</i>	Quadro Parcial	100 kW Trifásico Distância: 25m	1a)	1b)	1c)
<i>Simulação 2</i>	Iluminação	Nº Lâmpadas: 7 Potência: 48W Distância: 20m	2a)	2b)	2c)
<i>Simulação 3</i>	Equipamento	15 kW Monofásico, 0.85 FP Distancia: 15m	3a)	3b)	3c)

3.2. SIMULAÇÕES

Os Resultados obtidos para os parâmetros definidos acima foram os seguintes:

- Simulação 1a)

Tipo de Alimentação	Quadro	
Tipo de Alimentação	Trifasico	
Potência Estimada	100	
Alma Condutora	Cobre	
Corrente Serviço	170	
Secção do Condutor	50	
Corrente de fusão	175	
Secção Mínima	0,046254394	
Corrente Residual / Sensibilidad	10,86956522	
Corrente de Defeito	25	
Resistência de Terra (Ohm)	4,6	
Ambiente	Seco	50 V 
		
		

Nesta simulação foi considerado o valor de resistência de terra não conhecido, sendo o valor resultante da resistência de terra e tensão limite de funcionamento. Em análise aos resultados obtidos, é possível verificar que para proteção de pessoas, embora a corrente residual resultante seja no máximo 10A, para uma corrente de defeito de 23A, o máximo de sensibilidade existe é de 3A.

A secção mínima apresentada, é calculada tendo em conta o tempo máximo de atuação para os circuitos de tipologia TT (0.07s), sendo que a mesma também é cumprida.

A corrente máxima admissível do cabo, não permite integrar um dispositivo de proteção contra sobreintensidades, desta forma o cabo a aplicar deve ter uma secção superior, nomeadamente na ordem 70mm², com uma corrente máxima admissível de 222A, permitindo que a canalização seja protegida com um calibre de 200A.

- Simulação 1b)

Tipo de Alimentação	Quadro
Tipo de Alimentação	Trifasico
Potência Estimada	100
Alma Condutora	Cobre
Comprimento da Canalização	25
Corrente Serviço	170
Secção do Condutor	50
Corrente de fusão	175
Secção Mínima	25,5749189
Corrente de disparo	200
Corrente de Defeito	8177,777778



Nesta simulação, tal como na simulação anterior, verifica-se que o calibre de proteção selecionado não garante a proteção do cabo, pois a corrente máxima admissível é inferior ao calibre de proteção.

É então necessário aumentar a secção do cabo, para aumentar por sua vez a secção máxima admissível pelo cabo, neste caso deve ser aplicada uma secção de 70mm², correspondendo a uma corrente máxima admissível de 222A. A alteração da secção conduz a uma alteração do comprimento máximo da canalização, pelo que deve ser analisado se o mesmo continua a ser protegido ou não:

$$\text{comp} = (0.8 * 230 * 170) / (0.0225 * (1+(1/1)) * 200) = 1431\text{m}$$

Com uma secção de 70mm², o comprimento continua a ser protegido na sua totalidade e permite que a canalização seja protegida contra sobreintensidades com um calibre de

200A. O mesmo garante a proteção das pessoas em caso de defeito, uma vez que a corrente de defeito é superior ao dispositivo aplicado.

- Simulação 1c)

- IT Isolado

Tipo de Alimentação	Quadro
Tipo de Alimentação	Trifasico
Potência Estimada	100
Alma Condutora	Cobre
Comprimento da Canalização	25
Corrente Serviço	170
Secção do Condutor	50
Corrente de fusão	175
Secção Mínima	22,23905945
Corrente de disparo	200
Corrente de Defeito	7111,111111
Sistema IT	Isolado
Ligação das massas à Terra Ambiente	Ligadas a um unico eléetrodo de Terra Seco

50 V

Esquema TT

Esquema TN

Esquema IT

Guardar Dados

Apagar Dados

Apagar Notas

- IT Impedante Neutro não Distribuído

Tipo de Alimentação	Quadro
Tipo de Alimentação	Trifasico
Potência Estimada	100
Alma Condutora	Cobre
Comprimento da Canalização	25
Corrente Serviço	170
Secção do Condutor	50
Corrente de fusão	175
Secção Mínima	62,90156174
Corrente de disparo	200
Corrente de Defeito	14222,22222
Sistema IT	Impedante Neutro não Distribuído
Ligação das massas à Terra Ambiente	Ligadas a um unico eléetrodo de Terra Seco

50 V

Esquema TT

Esquema TN

Esquema IT

Guardar Dados

Apagar Dados

Apagar Notas

o IT Impedante Neutro Distribuído

Tipo de Alimentação	Quadro	
Tipo de Alimentação	Trifasico	
Potência Estimada	100	
Alma Condutora	Cobre	
Comprimento da Canalização	25	
Corrente Serviço	170	
Secção do Condutor	50	
Corrente de fusão	175	
Secção Mínima	51,14983749	
Corrente de disparo	200	
Corrente de Defeito	8177,777778	

Sistema IT	Impedante	Neutro Distribuido
Ligação das massas à Terra Ambiente	Ligadas a um unico elétrodo de Terra Seco	50 V

Esquema TT

Esquema TN

Esquema IT

Guardar Dados

Apagar Dados

Apagar Notas

NOTAS

Deve considerar uma secção superior, de modo a aumentar a corrente máxima admissível.

O comprimento da canalização é totalmente protegido.

Para as simulações efetuadas foi considerado que em caso de segundo defeito, as massas estão ligadas a um único elétrodo de terra.

Nos esquemas de ligação IT Impedante com Neutro distribuído e não distribuído, verifica-se que não é cumprida a secção mínima para que atuem os dispositivos de proteção, uma vez que os tempos diferem tendo em conta a tensão limite de funcionamento.

Embora no IT isolado a secção mínima seja cumprida, tal como no esquema de ligação TN, a secção determinada pela ferramenta não permite que seja aplicado um dispositivo

que proteja a canalização contra sobreintensidades, sendo necessário optar por uma secção de 70mm², correspondendo a uma corrente máxima admissível de 222A. A alteração da secção conduz a uma alteração do comprimento máximo protegido, pelo que deve ser analisado se o mesmo continua a ser protegido ou não:

$$\text{IT Isolado: comp} = (0.8 * 400 * 70) / (0.0225 * (1+(1/1)) * 200) = 2489\text{m}$$

$$\text{IT Impedante, Neutro Distribuído: comp} = (0.8 * 230 * 70) / (0.0225 * (1+(1/1)) * 200) = 1431\text{m}$$

$$\text{IT Impedante, Neutro não Distribuído: comp} = (0.8 * 400 * 70) / (0.0225 * (1+(1/1)) * 200) = 2489\text{m}$$

A alteração para uma secção de 70mm², permite aplicar um dispositivo de proteção contra sobreintensidades que garante ao mesmo tempo a proteção das pessoas, uma vez que a corrente de defeito é superior à corrente de disparo.

- Simulação 2a)

Tipo de Alimentação	Iluminação	
Tipo de Alimentação	Monofasico	
Potência Estimada	0,336	
Alma Condutora	Cobre	
Corrente Serviço	2	
Secção do Condutor	1,5	
Corrente de fusão	23	
Secção Mínima	0,042554042	
Corrente Residual / Sensibilidade	10	
Corrente de Defeito	23	
Resistência de Terra (Ohm)	5	
Ambiente	Seco	50 V

Esquema TT

Esquema TN

Esquema IT

Guardar Dados

Apagar Dados

Apagar Notas

Foi considerada uma resistência de terra conhecida com o valor de 5Ω. Perante este valor de resistência de Terra e tensão limite, obteve-se uma corrente residual máxima para proteção de pessoas na ordem dos 10A. Aplicando um dispositivo com uma corrente residual inferior continua a ser garantida a proteção das pessoas, uma vez que esta corrente diferencial corresponde ao valor máximo.

A secção mínima para atuar o dispositivo de proteção também é cumprido, e permite que seja enquadrado um dispositivo de proteção contra sobreintensidades, na ordem dos 10A.

- Simulação 2b)

Tipo de Alimentação	Iluminação	
Tipo de Alimentação	Monofasico	
Potência Estimada	0,336	
Alma Condutora	Cobre	
Comprimento da Canalização	20	
Corrente Serviço	1	
Secção do Condutor	1,5	
Corrente de fusão	23	
Secção Mínima	0,959059459	
Corrente de disparo	6	
Corrente de Defeito	306,6666667	

NOTAS

O comprimento da canalização é totalmente protegido.

Foi obtido o calibre de proteção de 6A, contudo para circuitos de iluminação é usual aplicar proteção de 10A. A alteração do calibre de proteção altera o comprimento máximo protegido passando para:

$$\text{comp} = (0.8 * 230 * 1.5) / (0.0225 * (1 + (1/1)) * 10) = 613\text{m}$$

Aplicando uma proteção de 10A numa secção de 1.5mm², o comprimento da canalização continua protegido. A secção mínima é determinada em função do tempo máximo de atuação dos dispositivos de proteção em esquemas TN (0.4s), sendo esta também cumprida.

- Simulação 2c)

- IT Isolado

Tipo de Alimentação	Iluminação	
Tipo de Alimentação	Monofasico	
Potência Estimada	0,336	Esquema TT
Alma Condutora	Cobre	
Comprimento da Canalização	20	Esquema TN
Corrente Serviço	1	
Secção do Condutor	1,5	
Corrente de fusão	23	
Secção Mínima	0,833964765	Esquema IT
Corrente de disparo	6	
Corrente de Defeito	266,6666667	
Sistema IT	Isolado	Guardar Dados
Ligação das massas à Terra Ambiente	Ligadas a um unico elétrodo de Terra Seco	50 V
		Apagar Dados
		Apagar Notas

- IT Impedante Neutro Não Distribuído

Tipo de Alimentação	Iluminação	
Tipo de Alimentação	Monofasico	
Potência Estimada	0,336	Esquema TT
Alma Condutora	Cobre	
Comprimento da Canalização	20	Esquema TN
Corrente Serviço	1	
Secção do Condutor	1,5	
Corrente de fusão	23	
Secção Mínima	2,358808517	Esquema IT
Corrente de disparo	6	
Corrente de Defeito	533,3333333	
Sistema IT	Impedante	Neutro não Distribuído
Ligação das massas à Terra Ambiente	Ligadas a um unico elétrodo de Terra Seco	50 V
		Guardar Dados
		Apagar Dados
		Apagar Notas

○ IT Impedante Neutro Distribuído

Tipo de Alimentação	Iluminação	
Tipo de Alimentação	Monofasico	
Potência Estimada	0,336	
Alma Condutora	Cobre	
Comprimento da Canalização	20	
Corrente Serviço	1	
Secção do Condutor	1,5	
Corrente de fusão	23	
Secção Mínima	1,918118954	
Corrente de disparo	6	
Corrente de Defeito	306,6666667	
Sistema IT	Impedante	Neutro Distribuido
Ligação das massas à Terra Ambiente	Ligadas a um unico eléctrodo de Terra Seco	50 V

Esquema TT

Esquema TN

Esquema IT

Guardar Dados

Apagar Dados

Apagar Notas

NOTAS

O comprimento da canalização é totalmente protegido.

As notas obtidas para as simulações efetuadas para o esquema IT, foram sempre a mesma representada acima, informando que o comprimento da canalização é totalmente protegido.

Em situação de segundo defeito foi considerado que as mesmas estavam ligadas a único eléctrodo de terra (TN).

Com o sistema IT isolado, a secção mínima para atuação do dispositivo de proteção é cumprida, o mesmo não se verifica com o sistema IT impedante. Este último compreende tempos de atuação diferentes, dependendo se o neutro é distribuído ou não e, dependendo da tensão limite.

Para os esquemas de IT Impedante, é necessário aplicar uma secção de 2.5mm², com vista a cumprir a atuação dos dispositivos de proteção. Uma vez que para estes dois casos, será alterada a secção do cabo e o dispositivo de proteção, é necessário verificar se o comprimento é totalmente protegido:

$$\text{IT Impedante, Neutro Distribuído: comp} = (0.8 * 230 * 2.5) / (0.0225 * (1+(1/1)) * 10) = 1022\text{m}$$

$$\text{IT Impedante, Neutro não Distribuído: comp} = (0.8 * 400 * 2.5) / (0.0225 * (1+(1/1)) * 10) = 1778\text{m}$$

Verifica-se que o comprimento da canalização é totalmente protegido. É garantida a proteção das pessoas com um dispositivo de proteção contra as sobreintensidades pois a corrente em caso de defeito é superior ao calibre de proteção, fazendo com que este efetue o corte automático da alimentação em correntes superiores a 10A.

- Simulação 3a)

Tipo de Alimentação	Equipamento	
Tipo de Alimentação	Monofasico	
Potência Estimada	15	
Alma Condutora	Cobre	
Corrente Serviço	77	
Secção do Condutor	16	
Corrente de fusão	100	
Secção Minima	0,046254394	
Corrente Residual / Sensibilidad	10,86956522	
Corrente de Defeito	25	
Resistência de Terra (Ohm)	4,6	
Ambiente	Seco	50 V

Esquema TT

Esquema TN

Esquema IT

Guardar Dados

Apagar Dados

Apagar Notas

Nesta simulação foi considerada a resistência de Terra não conhecida, sendo que a mesma foi determinada tendo em conta a tensão limite de tensão e a corrente de defeito.

A corrente residual obtida é de 10A, contudo como já referido anteriormente é uma corrente residual máxima, ou seja, é possível aplicar um dispositivo com uma corrente residual inferior.

Também é cumprida a secção mínima da canalização em função do tempo máximo de atuação do dispositivo de proteção (0.07s). Para proteção da canalização, deve ser considerado um dispositivo de proteção contra sobreintensidades, com um calibre de 80A, verificando-se assim as condições:

$$77 (I_s) < 80A \text{ (Calibre)} < 100A (I_z)$$

- Simulação 3b)

Tipo de Alimentação	Equipamento	     
Tipo de Alimentação	Monofasico	
Potência Estimada	15	
Alma Condutora	Cobre	
Comprimento da Canalização	15	
Corrente Serviço	77	
Secção do Condutor	16	
Corrente de fusão	100	
Secção Mínima	13,63995675	
Corrente de disparo	80	
Corrente de Defeito	4361,481481	

NOTAS
O comprimento da canalização é totalmente protegido.

Os resultados obtidos nesta simulação são satisfatórios. O calibre de fusível (corrente de disparo) determinado enquadra-se na corrente máxima admissível pelo cabo, não sendo necessário o aumento da secção para que se cumpram as condições de proteção.

A secção do cabo é superior á secção mínima para que se garanta o corte da alimentação nos tempos definidos, sendo nesta situação 0.4s.

- Simulação 3c)

- IT Isolado

Tipo de Alimentação	Equipamento		
Tipo de Alimentação	Monofasico		
Potência Estimada	15		
Alma Condutora	Cobre		
Comprimento da Canalização	15		
Corrente Serviço	77		
Secção do Condutor	16		
Corrente de fusão	100		
Secção Mínima	11,86083221		
Corrente de disparo	80		
Corrente de Defeito	3792,592593		
Sistema IT	Isolado		
Ligação das massas à Terra	Ligadas a um unico elétrodo de Terra		
Ambiente	Seco	50 V	

Esquema TT

Esquema TN

Esquema IT

Guardar Dados

Apagar Dados

Apagar Notas

- IT Impedante Neutro não Distribuído

Tipo de Alimentação	Equipamento		
Tipo de Alimentação	Monofasico		
Potência Estimada	15		
Alma Condutora	Cobre		
Comprimento da Canalização	15		
Corrente Serviço	77		
Secção do Condutor	16		
Corrente de fusão	100		
Secção Mínima	33,54750061		
Corrente de disparo	80		
Corrente de Defeito	7585,185185		
Sistema IT	Impedante	Neutro não Distribuído	
Ligação das massas à Terra	Ligadas a um unico elétrodo de Terra		
Ambiente	Seco	50 V	

Esquema TT

Esquema TN

Esquema IT

Guardar Dados

Apagar Dados

Apagar Notas

o IT Impedante Neutro Distribuído

Tipo de Alimentação	Equipamento	
Tipo de Alimentação	Monofasico	
Potência Estimada	15	Esquema TT
Alma Condutora	Cobre	
Comprimento da Canalização	15	Esquema TN
Corrente Serviço	77	
Secção do Condutor	16	Esquema IT
Corrente de fusão	100	
Secção Mínima	27,27991295	Guardar Dados
Corrente de disparo	80	Apagar Dados
Corrente de Defeito	4361,481481	Apagar Notas
Sistema IT	Impedante	Neutro Distribuido
Ligação das massas à Terra	Ligadas a um unico elétrodo de Terra	
Ambiente	Seco	50 V

Nesta simulação, volta-se a verificar que nos esquemas de IT Impedante a secção mínima da canalização não é cumprida, sendo necessário o aumento da secção para 35mm². O aumento da secção leva a uma alteração do comprimento máximo admissível, sendo importante confirmar se a mesma se mantém protegida:

$$\text{IT Impedante, Neutro Distribuído: comp} = (0.8 * 230 * 35) / (0.0225 * (1+(1/1)) * 80) = 1789\text{m}$$

$$\text{IT Impedante, Neutro não Distribuído: comp} = (0.8 * 400 * 35) / (0.0225 * (1+(1/1)) * 80) = 3111\text{m}$$

O aumento da secção para 35mm² continua a garantir que todo o comprimento da instalação é protegido. O calibre de protecção mantém-se permitindo a protecção das pessoas e a protecção da canalização.

3.3. CONCLUSÃO

Entre a página inicial e a folha de calculo, foi criada uma folha intermédia que em forma de diálogo permite fazer uma introdução à importância de garantir a protecção das pessoas.

Os cálculos desenvolvidos consideram a secção do Neutro igual a secção de Fase, desta forma além de considerar o pior cenário, permitiu simplificar a programação por trás da ferramenta. Considerando uma secção de Neutro aproximadamente metade da secção de fase permite reduzir a corrente de defeito, e por sua vez permite reduzir o calibre dos dispositivos de corte.

Foram estipulados valores de potência para os diferentes tipos de alimentação estipulados, nomeadamente quadros, equipamentos e iluminação, e para cada um deles foi desenvolvida a respetiva simulação. Junto de cada simulação foi efetuada uma breve justificação dos valores obtidos.

4. CONCLUSÕES

Os acidentes provenientes de fontes de eletricidade, podem ser perigosos se os dispositivos de proteção não atuarem no tempo limite definido nas normas e regulamentos, evitando que a corrente ao circular no corpo humano provoque danos irreversíveis.

Os contactos com elementos sob tensão, podem ser diretos ou indiretos, sendo que para cada tipo de contacto existem métodos de proteção diferentes. Em suma, para contactos diretos os métodos de proteção passam pela colocação de barreiras físicas que coloquem as partes ativas inacessíveis, já para contactos indiretos não é tão simples.

Contactos indiretos acontecem, quando um equipamento elétrico apresenta um defeito de isolamento elétrico e deixa passar a corrente para o involucrio que, se for metálico é condutor, vai ficar sujeito a um determinado potencial, ou tensão de defeito. Para estas situações as medidas de proteção são um pouco mais complexas, passando pela realização de um Esquema de Ligação à Terra adequado à utilização da instalação.

Cada um dos ELT existentes tem as suas vantagens e desvantagens, que devem ser tidas em conta na escolha do esquema a implementar, principalmente quando a instalação é nova, pois permite efetuar os cálculos para um determinado regime e tomar as devidas providências para que seja garantido o funcionamento das proteções. As principais vantagens e desvantagens da aplicação de cada um dos ELT são as seguintes:

Esquema de Ligação à Terra TT

- *Vantagens:* Não requer grandes conhecimentos das características da instalação para o seu dimensionamento, como por exemplo quanto à distância desde a origem da instalação ao equipamento. Durante a exploração da instalação, não requer uma vigilância permanente, contudo, é recomendado um controlo periódico aos dispositivos diferenciais.
- *Desvantagens:* Corte automático da alimentação ao primeiro defeito. Possibilidade de aumento dos custos para prevenção de disparos intempestivos e seletividade dos dispositivos diferenciais.

Esquema de Ligação à Terra TN

- *Vantagens:* Mais vantajoso sob o ponto de vista económico, pois necessita apenas da realização de uma Terra na instalação. Também permite a supressão de um condutor e por consequência de um polo de proteção.
- *Desvantagens:* Corte automático da alimentação ao primeiro defeito. Requer pessoal de manutenção competente. Acentua os riscos de incêndio devido a correntes de defeito fortes. Requer verificação das condições de segurança, aquando do estudo e após colocação em serviço.

Esquema de Ligação à Terra IT

- *Vantagens:* Permite uma melhor continuidade de serviço, devido ao corte apenas ao segundo defeito.
- *Desvantagens:* Necessita de vigilância durante a exploração. Mais dispendiosa devido ao facto de necessitar de equipamentos de controlo de isolamento da instalação.

Efetivamente o ELT IT, é o único que garante a continuidade de serviço em caso de defeito, porém é economicamente mais caro não só durante a sua conceção mas também durante a exploração da instalação.

Embora o ELT TN tenha sido referido como um todo, este é dividido em 3 configurações diferentes, sendo entre elas umas mais vantajosas que outras. De um modo geral, não é permitido o corte do condutor do Neutro poupando assim um polo nos dispositivos de proteção. Contudo se o condutor de Neutro e Proteção forem distribuídos separadamente

(TN-S) a conceção da instalação já é mais cara, pois necessita de mais um cabo e mais um polo no dispositivo de proteção.

O Esquema de Ligação TT, é mais económico durante a exploração do edifício, é necessário controlar as condições de disparo dos aparelhos diferenciais pois estes são afetados pela variação da resistência de terra.

A aplicação de dispositivos diferenciais numa instalação, requer que se garanta a coordenação entre eles de modo a que em caso de defeito atue o dispositivo de proteção mais próximo do defeito. No ELT TT, quando existem vários pontos de ligação à Terra é aconselhável que exista um dispositivo diferencial por cada grupo de saídas ligadas à mesma terra.

Com o desenvolvimento desta ferramenta, conclui-se que para os ELT TT a corrente residual que atuará o dispositivo de proteção depende fundamentalmente da amplitude da corrente de defeito e da resistência do eletrodo de terra. Como os valores de corrente de defeito são reduzidos, embora ainda perigosos, é possível garantir a proteção com dispositivos sensíveis à corrente residual.

Nos esquemas de Ligação à Terra TN, dado que as correntes de defeito são elevadas a proteção das pessoas pode ser garantida pela aplicação de dispositivos de proteção contra sobreintensidades, protegendo as pessoas e a canalização.

A secção é determinada em função da corrente de funcionamento, sendo por isso necessário que o utilizador tenha conhecimento do tema, pois por vezes o intervalo entre a corrente de funcionamento e a corrente de fusão do cabo não permite enquadrar um dispositivo de proteção contra sobreintensidades.

Para o ELT IT, conclui-se que o IT Isolado e o IT Impedante com Neutro não distribuído permite obter comprimentos protegidos superiores ao IT Impedante com o Neutro Distribuído. A aplicação de neutro distribuído não é aconselhada uma vez que um curto circuito que circule pelo neutro não é detetado pelo CPI.

A ferramenta desenvolvida apresenta limitações, nomeadamente quando a corrente de serviço excede a corrente máxima admissível pelo cabo.

Com o desenvolvimento desta dissertação, conclui-se que uma correta execução dos ELT é fundamental para o funcionamento dos dispositivos de proteção, prevenindo acidentes por contactos indiretos.

Para o desenvolvimento desta ferramenta, foi utilizado o recurso Excel/VBA da Microsoft Office, limitando a utilização da ferramenta à utilização de um computador, este pode continuar a ser desenvolvido com vista a desenvolver uma aplicação Web e/ou aplicação móvel.

Com o desenvolvimento de uma aplicação, torna-se mais fácil e prática a utilização da ferramenta, permitindo dar respostas rápidas e possibilitando o acesso não só no computador, mas também no tablet ou telemóvel.

Referências Bibliográficas

- [1] Schneider Electric. (2016). *Electrical Installation Guide*.
- [2] Legrand. (2009). *Electrical Hazards and Protecting Persons*.
- [3] Carvalho, J. B. (2016). Apontamentos Teóricos de INELE - Esquemas de Ligação à terra e a Proteção de Pessoas. Porto. Obtido em 08 de 04 de 2018
- [4] Gomes, A. A. (2016). Apontamentos Teóricos de INELE - Instalações de Ligação à Terra. Porto.
- [5] Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão [RTIEBT]. (2000).
- [6] Commission, I. E. (2005). IEC 60479-1. *Effects of current on human beings and livestock - General Aspects*.
- [7] Carvalho, J. B. (2016). Apontamento Teóricos de INELE - Proteção e Coordenação. Porto.
- [8] EDP Distribuição - Energia, S. (Julho de 2005). Guia Técnico de Terras, 2ª Parte - Eléktrodo de Terra. DRE-C11-040/N.
- [9] António Augusto Araújo Gomes, J. A. (2017). Instalações Elétricas de Média Tensão "Postos de Transformação e Seccionamento". Porto: Publindústria, Edições Técnicas.
- [10] Certiel. (Junho de 2005). Ficha Técnica 12. Selectividade entre Diferenciais.
- [11] Certiel. (Junho de 2005). Ficha Técnica 16. Selectividade de proteção contra sobreintensidades.
- [12] Carvalho, J. A. (s.d.). Proteção de Pessoas em instalações elétricas de Baixa Tensão.
- [13] Gomes, A. A. (2014). Apontamentos Teóricos de PIEL1 - Instalações de Ligação à Terra e Proteção de Pessoas em Instalações Elétricas. Porto
- [14] Commission, I. E. (2005). IEC 60364-4-41. *Low-Voltage electrical installations (Protection for safety-Protection against electric shock)*.
- [15] CELENEC. (2012). EN 61008-1. *Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses - General rules*.
- [16] Filho, J. M. (s.d.). Instalações Elétricas Industriais . Editora LTC.

- [17] Soares, C. (s.d.). Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Projecto, Execução e Exploração. Edição Certiel.
- [18] Gomes, A. A. (s.d.). Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Canalizações Elétricas. Publindústria, Edições Técnicas.
- [19] Gomes, A. A., Silva, H., & Carvalho, J. A. (s.d.). Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Dimensionamento e proteção de canalizações elétricas. Publindústria, Edições Técnicas.
- [20] Creder, H. (s.d.). *Instalações Elétricas*. Editora LTC.
- [21] Vilela Pinto, L. M. (s.d.). Técnicas e Tecnologias nas Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Edição Certiel.
- [22] Lacroix, B., & Calvas, R. (s.d.). *Esquemas de Ligação à Terra em Baixa Tensão*. Edição Merlin Gerin.
- [23] Serpinet, M., & Morel, R. (s.d.). *A Selectividade Energética em Baixa Tensão*. Edição Merlin Gerin.
- [24] Legrand. (s.d.). *Distribution et Puissantw*. Edição Legrand.
- [25] Paiva, J. P. (s.d.). Redes de Energia Elétrica - Uma análise sistemática. IST Press.
- [26] Deldago, M. (s.d.). Proteção de Instalações de proteção elétricas centralizadas e descentralizadas. Publindustria, Edições Técnicas.
- [27] Araujo, L. P. (Maio de 2018). *Escolha do Regime de Neutro*. Obtido de <http://WWW.prof2000.pt/users/lpa>
- [28] Araújo, L. P. (Maio de 2018). *Selectividade das protecções elétricas*. Obtido de <http://www.prof2000.pt/users/lpa>
- [29] Indusmelec - Material Elétrico & Automatismos Industriais, Lda. (s.d.). *Caderno Técnico 3 - Regimes de Neutro*. Obtido de Indusmelec: http://www.indusmelec.pt/newsletter/04/cadernotecnico_03.pdf
- [30] Indusmelec, Material Elétrico & Automatismos Industriais, Lda. (s.d.). *Proteção Diferencial*. Obtido de Indusmelec: http://www.indusmelec.pt/newsletter/09/Proteccao_Diferencial.pdf
- [31] Praça, I. (2011). Apointamentos Teóricos de APROG (Algoritmia e Programação)

Anexo A. Ferramenta Desenvolvida

```
Sub Next_page()  
'  
' Next_page Macro  
  
    Sheets("Ferramenta").Select  
  
End Sub  
Sub Apagar()  
'  
' Apagar Macro  
  
    Range("A:I").Select  
    Selection.ClearContents  
    ActiveSheet.Range("A:I").Select  
    With Selection.Interior  
        .Pattern = xlSolid  
        .PatternColorIndex = xlAutomatic  
        .Color = RGB(255, 255, 255)  
        .TintAndShade = 0  
        .PatternTintAndShade = 0  
    End With  
    Range("A1").Select  
  
End Sub  
Sub Apagar_Notas()  
'  
' Apagar Macro  
  
    Range("J5:U21").Select  
    Selection.ClearContents  
    ActiveSheet.Range("J5:U21").Select  
    With Selection.Interior  
        .Pattern = xlSolid  
        .PatternColorIndex = xlAutomatic  
        .Color = RGB(255, 255, 255)  
        .TintAndShade = 0  
        .PatternTintAndShade = 0  
    End With  
    Range("A1").Select  
  
End Sub  
  
Sub Guardar()  
  
Dim Ligação, Alimentação As String
```

```

Dim Potencia, Comprimento, Secção, I_s, I_n,
Iz, Icc As Single

Worksheets("Ferramenta").Select
Ligação = Range("B1")
Alimentação = Range("B2")
Potencia = Range("B3")
Comprimento = Range("B6")
Secção = Range("B8")
I_s = Range("B7")
I_n = Range("B11")
Iz = Range("B9")
Icc = Range("B12")

Worksheets("Dados").Select
Worksheets("Dados").Range("A1").Select

If Worksheets("Dados").Range("A1").Offset(1,
0) <> "" Then
Worksheets("Dados").Range("A1").End(xlDown).S
elect
End If

ActiveCell.Offset(1, 0).Select
ActiveCell.Value = Ligação
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Value = Alimentação
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Value = Potencia
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Value = Comprimento
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Value = Secção
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Value = I_s
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Value = I_n
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Value = Iz
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Value = Icc

End Sub
Sub TT()
'DEFINIR VARIÁVEIS
    Dim tp_ELt, p_cond, p_RTerra, tpcondut,
p_Amb, tpcan, tpalim As String
    Dim RTerra, IDef, IResid, ro, Potencia,
plamp, U, s_min, FP As Single
    Dim U_TT, ULim, k, nlamp As Integer
    Dim t As Double

```

```

Dim I As Long
'-----'
'INPUTS
tpcan = Application.InputBox("Retirar o que
não se aplica", "Tipo de canalização",
"Quadro | Equipamento | Iluminação", , , ,
Type:=2)

Range("A1").Value = "Tipo de Alimentação"

If tpcan = "Quadro" Then      'Abre IF

    Potencia =
Application.InputBox("Potência em kW:",
"Potência Estimada", , , , , Type:=1)
    Range("B1").Value = tpcan
    Range("A3").Value = "Potência
Estimada"
    Range("B3").Value = Potencia

Else

    If tpcan = "Equipamento" Then
'Abre IF

        Potencia =
Application.InputBox("Potência em kW:",
"Potência do Equipamento", , , , , Type:=1)
        Range("B1").Value = tpcan
        Range("A3").Value = "Potência
Estimada"
        Range("B3").Value = Potencia

    Else

        If tpcan = "Iluminação" Then
'Abre IF

            plamp =
Application.InputBox("Potência em W",
"Potência da lampada", , , , , Type:=1)
            nlamp =
Application.InputBox("", "Total de lampadas
no mesmo circuito", , , , , Type:=1)

            Potencia = (plamp / CLng(1000)
* nlamp)

            Range("B1").Value = tpcan
            Range("A3").Value = "Potência
Estimada"

```

```

        Range("B3").Value = Potencia
    End If      'Fecha If
End If      'Fecha IF

End If      'Fecha IF
'-----'
    FP = Application.InputBox("Caso desconhecido, assumir o valor de 0.85",
"Factor de Potência", "0,85", , , , ,
Type:=1)

    tpalim = Application.InputBox("", "Qual o tipo de Alimentação", "Monofasico | Trifasico", , , , , Type:=2)

    If tpalim = "Monofasico" Then 'Abre IF

        Range("A2").Value = "Tipo de Alimentação"
        Range("B2").Value = tpalim

        U = 230

    Else

        If tpalim = "Trifasico" Then 'Abre IF

            Range("A2").Value = "Tipo de Alimentação"
            Range("B2").Value = tpalim

            U = 400 * 1.732

        Else

            MsgBox ("Deve inserir Monofasico ou Trifasico")

        End If 'Fecha IF

    End If 'Fecha IF
'-----'
    p_Amb = Application.InputBox("Retirar o que não se aplica", "Tipo de Ambiente da instalação", "Humido | Seco", , , , , Type:=2)

    If p_Amb = "Humido" Then      'Abre IF

        ULim = 25

```

```

Else
    If p_Amb = "Seco" Then      'Abre
IF
    ULim = 50

    End If      'Fecha IF

End If      'Fecha IF

Range("A14").Value = "Ambiente"
Range("B14").Value = p_Amb
Range("C14").Value = ULim
Range("D14").Value = "V"
'-----'
tpcondut = Application.InputBox("Retirar o
que não se aplica", "Tipo de condutor:",
"Cobre | Aluminio", , , , Type:=2)

    If tpcondut = "Cobre" Then      'Abre If

Range("A5").Value = "Alma Condutora"
Range("B5").Value = tpcondut

ro = 0.0225
k = 143

Else

    If tpcondut = "Aluminio" Then      'Abre
If
Range("A5").Value = "Alma Condutora"
Range("B5").Value = tpcondut

ro = 0.036
k = 94

Else

MsgBox ("Condutor não conhecido, inserir
condutor válido.")

End If      'Fecha IF

End If      'Fecha IF
'-----'

```

```

p_RTerra = Application.InputBox("Conhecido?",
"Valor da resistência de Terra", "Sim | Não",
, , , , Type:=2)

    If p_RTerra = "Sim" Then 'Abre IF

        RTerra = Application.InputBox("",
"Inserir valor de Resistência de Terra", , ,
, , , Type:=1)

        Range("A13").Value = "Resistência de
Terra (Ohm) "
        Range("B13").Value = RTerra

        U_TT = 230

        IDef = U_TT / (RTerra * 2) 'Eq. 3

        Range("A12").Value = "Corrente de
Defeito"
        Range("B12").Value = IDef

    Else 'Quando não é conhecido a
resistencia de terra

        U_TT = 230

        RTerra = U_TT / ULim

        Range("A13").Value = "Resistência de
Terra (Ohm) "
        Range("B13").Value = RTerra

        IDef = U_TT / (RTerra * 2) 'Eq. 3

        Range("A12").Value = "Corrente de
Defeito"
        Range("B12").Value = IDef

    End If ' Fecha IF

IResid = ULim / RTerra 'Eq.4

Range("A11").Value = "Corrente Residual /
Sensibilidade"
Range("B11").Value = IResid
'-----'
'DETERMINAR A SECÇÃO DO CABO
I = (Potencia * CLng(1000)) / (U * FP)

        Range("A7").Value = "Corrente Serviço"

```

```

Range("B7").Value = I

Worksheets("Cabos").Activate
    If tpalim = "Monofasico" Then
'Abre IF

        If tpcondut = "Cobre" Then
'Abre IF

            For linha1 = 2 To 20

                iz_cm = ActiveSheet.Range("C"
& linha1).Value

                If iz_cm > I Then
'Abre If

                    iz_cm = ActiveSheet.Range("C"
& linha1).Value

                    s_cb = ActiveSheet.Range("B"
& linha1).Value

Worksheets("Ferramenta").Activate
                ActiveSheet.Range("A9").Value
= "Corrente de fusão"
                ActiveSheet.Range("B9") =
iz_cm

                ActiveSheet.Range("A8").Value
= "Secção do Condutor"
                ActiveSheet.Range("B8") =
s_cb

                Exit For

            End If      'Fecha IF

        Next linha1

    Else

        Worksheets("Cabos").Activate

        For linha1 = 2 To 20

            iz_cm = ActiveSheet.Range("D" &
linha1).Value

```

```

                If iz_cm > I Then                'Abre
IF
                iz_cm =
ActiveSheet.Range("D" & linha1).Value

                s_cb =
ActiveSheet.Range("B" & linha1).Value

Worksheets("Ferramenta").Activate

ActiveSheet.Range("A9").Value = "Corrente de
fusão"
                ActiveSheet.Range("B9") =
iz_cm

ActiveSheet.Range("A8").Value = "Secção do
Condutor"
                ActiveSheet.Range("B8") =
s_cb

                Exit For

                End If                'Fecha IF

                Next linha1

                End If                'Fecha IF

                Else ' Se for Trifásico

                If tpcondut = "Cobre" Then
'Abre IF

                Worksheets("Cabos").Activate

                For linha1 = 21 To 39

                iz_cm = ActiveSheet.Range("C" &
linha1).Value

                If iz_cm > I Then                'Abre
IF

                iz_cm =
ActiveSheet.Range("C" & linha1).Value

                s_cb =
ActiveSheet.Range("B" & linha1).Value

```

```

Worksheets("Ferramenta").Activate

ActiveSheet.Range("A9").Value = "Corrente de
fusão"
                ActiveSheet.Range("B9") =
iz_cm

ActiveSheet.Range("A8").Value = "Secção do
Condutor"
                ActiveSheet.Range("B8") =
s_cb

                Exit For

                End If      'Fecha IF

                Next linha1

                Else

                For linha1 = 21 To 39

                Worksheets("Cabos").Activate

                iz_cm = ActiveSheet.Range("D" &
linha1).Value

                If iz_cm > I Then

'Abre IF

Worksheets("Ferramenta").Activate
                ActiveSheet.Range("A9").Value
= "Corrente de fusão"
                ActiveSheet.Range("B9") =
iz_cm

                ActiveSheet.Range("A8").Value
= "Secção do Condutor"
                ActiveSheet.Range("B8") =
s_cb

                Exit For

                End If      'Fecha IF

                Next linha1

```

```

        End If          'Fecha IF

    End If          'Fecha IF

t = 0.07

s_min = (Sqr(t) * IDef) / k
Range("A10").Value = "Secção Mínima"
Range("B10").Value = s_min

End Sub
Sub TN()
' DEFINIR VARIÁVEIS

    Dim p_cond, tpcan, tpalim, tpcondu As
String
    Dim sec, s_min, s_cb, m, ro, dist, IDef,
iz_cm, plamp, FP, U, I2 As Single
    Dim mlh_def, Uc, t, comp As Double
    Dim i_disp, k, nlamp, linha1, linha2 As
Integer
    Dim I As Long
'-----'
'INPUTS
tpcan = Application.InputBox("Retirar o que
não se aplica", "Tipo de canalização",
"Quadro | Equipamento | Iluminação", , , ,
Type:=2)

Range("A1").Value = "Tipo de Alimentação"

    If tpcan = "Quadro" Then          'Abre IF

        Potencia =
Application.InputBox("Potência em kW:",
"Potência Estimada", , , , , Type:=1)
        Range("B1").Value = tpcan
        Range("A3").Value = "Potência
Estimada"
        Range("B3").Value = Potencia

    Else

        If tpcan = "Equipamento" Then
'Abre IF

            Potencia =
Application.InputBox("Potência em kW:",
"Potência do Equipamento", , , , , Type:=1)
            Range("B1").Value = tpcan

```

```

Range("A3").Value = "Potência
Estimada"
Range("B3").Value = Potencia

Else

    If tpcan = "Iluminação" Then
'Abre IF

        plamp =
Application.InputBox("Potência em W",
"Potência da lampada", , , , , Type:=1)
        nlamp =
Application.InputBox("", "Total de lampadas
no mesmo circuito", , , , , Type:=1)

        Potencia = (plamp / CLng(1000)
* nlamp)

        Range("B1").Value = tpcan
Range("A3").Value = "Potência
Estimada"
        Range("B3").Value = Potencia

        End If          'Fecha If

    End If          'Fecha IF

End If          'Fecha IF
'-----'
FP = Application.InputBox("Caso
desconhecido, assumir o valor de 0.85",
"Factor de Potência", "0,85", , , ,
Type:=1)

    tpalim = Application.InputBox("", "Qual o
tipo de Alimentação", "Monofasico |
Trifasico", , , , , Type:=2)

    If tpalim = "Monofasico" Then 'Abre IF

        Range("A2").Value = "Tipo de Alimentação"
Range("B2").Value = tpalim

        U = 230

    Else

        If tpalim = "Trifasico" Then 'Abre IF

```

```

        Range("A2").Value = "Tipo de
Alimentação"
        Range("B2").Value = tpalim

        U = 400 * 1.732

        Else

            MsgBox ("Deve inserir Monofasico ou
Trifasico")

            End If 'Fecha IF

        End If 'Fecha IF

'-----'
        dist = Application.InputBox("Insira o
comprimento de cabo a ser protegido",
"Comprimento de Cabo", , , , , Type:=1)

        Range("A6").Value = "Comprimento da
Canalização"
        Range("B6").Value = dist
'-----'
p_Amb = Application.InputBox("Retirar o que
não se aplica", "Tipo de Ambiente da
instalação", "Humido | Seco", , , , ,
Type:=2)

        If p_Amb = "Humido" Then            'Abre IF

            ULim = 25

            Else

                If p_Amb = "Seco" Then            'Abre
IF

                    ULim = 50

                    End If            'Fecha IF

                End If            'Fecha IF

            Range("A13").Value = "Ambiente"
            Range("B13").Value = p_Amb
            Range("C13").Value = ULim
            Range("D13").Value = "V"
'-----'

```

```

tpcondut = Application.InputBox("Retirar o
que não se aplica", "Tipo de condutor:",
"Cobre | Alumínio", , , , Type:=2)

    If tpcondut = "Cobre" Then          'Abre If

Range("A5").Value = "Alma Condutora"
Range("B5").Value = tpcondut

ro = 0.0225
k = 143

Else

    If tpcondut = "Alumínio" Then      'Abre
If
Range("A5").Value = "Alma Condutora"
Range("B5").Value = tpcondut

ro = 0.036
k = 94

Else

    MsgBox ("Condutor não conhecido, inserir
condutor válido.")

    End If          'Fecha IF

    End If          'Fecha IF

'-----'
'DETERMINAR SECÇÃO DO CABO
I = (Potencia * CLng(1000)) / (U * FP)

Range("A7").Value = "Corrente Serviço"
Range("B7").Value = I

Worksheets("Cabos").Activate
    If tpalim = "Monofasico" Then
'Abre IF

        If tpcondut = "Cobre" Then
'Abre IF

            For linha1 = 2 To 20

                iz_cm = ActiveSheet.Range("C"
& linha1).Value

```

```

        If iz_cm > I Then
'Abre If

        iz_cm = ActiveSheet.Range("C"
& linha1).Value

        s_cb = ActiveSheet.Range("B"
& linha1).Value

Worksheets("Ferramenta").Activate
        ActiveSheet.Range("A9").Value
= "Corrente de fusão"
        ActiveSheet.Range("B9") =
iz_cm

        ActiveSheet.Range("A8").Value
= "Secção do Condutor"
        ActiveSheet.Range("B8") =
s_cb

        Exit For

    End If      'Fecha IF

    Next linha1

Else

    Worksheets("Cabos").Activate

    For linha1 = 2 To 20

        iz_cm = ActiveSheet.Range("D" &
linha1).Value

        If iz_cm > I Then      'Abre
IF

            iz_cm =
ActiveSheet.Range("D" & linha1).Value

            s_cb =
ActiveSheet.Range("B" & linha1).Value

Worksheets("Ferramenta").Activate

ActiveSheet.Range("A9").Value = "Corrente de
fusão"

```

```

ActiveSheet.Range("B9") =
iz_cm

ActiveSheet.Range("A8").Value = "Secção do
Condutor"
ActiveSheet.Range("B8") =
s_cb

Exit For

End If 'Fecha IF

Next linha1

End If 'Fecha IF

Else ' Se for Trifásico

If tpcondut = "Cobre" Then
'Abre IF

Worksheets("Cabos").Activate

For linha1 = 21 To 39

iz_cm = ActiveSheet.Range("C" &
linha1).Value

If iz_cm > I Then 'Abre
IF

iz_cm =
ActiveSheet.Range("C" & linha1).Value

s_cb =
ActiveSheet.Range("B" & linha1).Value

Worksheets("Ferramenta").Activate

ActiveSheet.Range("A9").Value = "Corrente de
fusão"

ActiveSheet.Range("B9") =
iz_cm

ActiveSheet.Range("A8").Value = "Secção do
Condutor"

ActiveSheet.Range("B8") =
s_cb

```

```

Exit For

End If      'Fecha IF

Next linha1

Else

For linha1 = 21 To 39

Worksheets("Cabos").Activate

    iz_cm = ActiveSheet.Range("D" &
linha1).Value

        If iz_cm > I Then
'Abre IF

Worksheets("Ferramenta").Activate
    ActiveSheet.Range("A9").Value
= "Corrente de fusão"
    ActiveSheet.Range("B9") =
iz_cm

        ActiveSheet.Range("A8").Value
= "Secção do Condutor"
    ActiveSheet.Range("B8") =
s_cb

        Exit For

        End If      'Fecha IF

    Next linha1

End If      'Fecha IF

End If      'Fecha IF

    m = s_cb / s_cb      'Eq.6

    mlh_def = ro * (dist / s_cb) * (1 +
m)      'Eq.6

    IDef = (0.8 * 230) / mlh_def
Range("A12").Value = "Corrente de
Defeito"
Range("B12").Value = IDef

```

```

t = 0.2

s_min = (Sqr(t) * IDef) / k
'Eq.24
Range("A10").Value = "Secção Minima"
Range("B10").Value = s_min
'-----'
Worksheets("Proteccao").Activate

For linha2 = 2 To 25

    i_disp = ActiveSheet.Range("A" &
linha2).Value

        I2 = 1.45 * iz_cm

        If i_disp > I And i_disp < iz_cm
And I2 > iz_cm Then      'Abre if

            Worksheets("Ferramenta").Activate
            ActiveSheet.Range("A11").Value =
"Corrente de disparo"
            ActiveSheet.Range("B11").Value =
i_disp

            Exit For

        Else

            Worksheets("Proteccao").Activate

            i_disp = ActiveSheet.Range("A" &
linha2).Value

            If i_disp > iz_cm Then      'Abre
If

                Worksheets("Ferramenta").Activate
                ActiveSheet.Range("A11").Value =
"Corrente de disparo"
                ActiveSheet.Range("B11").Value =
i_disp

                ActiveSheet.Range("B11").Select
                With Selection.Interior
                    .Pattern = xlSolid
                    .PatternColorIndex =
xlAutomatic

                    .Color = RGB(222, 0, 0)
                    .TintAndShade = 0
                    .PatternTintAndShade = 0
                End With

```

```

        Range("J5").Value = "Deve
considerar uma secção superior, de modo a
aumentar a corrente máxima admissível."

        Exit For

        End If      'Fecha IF

    End If      'Fecha IF

Next linha2

Worksheets("Ferramenta").Activate
'-----'
    comp = (0.8 * U * s_cb) / (ro * (1 +
m) * i_disp)      'Eq.13

    If comp < dist Then      'Abre If

        Range("J7").Value = "0
comprimento da canalização não é protegido na
sua totalidade."

    Else

        Range("J7").Value = "0
comprimento da canalização é totalmente
protegido."

    End If      'Fecha If

End Sub
Sub IT()
' DEFINIR VARIÁVEIS
    Dim p_cond, p_IT, p_Neutro, p_RTerra,
tpcan, tpcondut, p_Amb As String
    Dim Potencia, plamp, sF, s_cb, U, i_ldef,
iz_cm, dist, IResid, Ia, Rf, Rpe, Dis_dif,
Iddf, ULim_2, Ra, m, IDef, RTerra, U_IT, FP,
s_min As Single
    Dim I As Long
    Dim comp, Uc, t, mlh_def As Double
    Dim U_IT, Z, massas, ULim, i_disp, k, U0,
nlamp, linha1, linha2 As Integer
'-----'
'INPUTS
tpcan = Application.InputBox("Retirar o que
não se aplica", "Tipo de canalização",
"Quadro | Equipamento | Iluminação", , , ,
Type:=2)

```

```

Range("A1").Value = "Tipo de Alimentação"

    If tpcan = "Quadro" Then          'Abre IF

        Potencia =
Application.InputBox("Potência em kW:",
"Potência Estimada", , , , , Type:=1)
        Range("B1").Value = tpcan
        Range("A3").Value = "Potência
Estimada"
        Range("B3").Value = Potencia

    Else

        If tpcan = "Equipamento" Then
'Abre IF

            Potencia =
Application.InputBox("Potência em kW:",
"Potência do Equipamento", , , , , Type:=1)
            Range("B1").Value = tpcan
            Range("A3").Value = "Potência
Estimada"
            Range("B3").Value = Potencia

        Else

            If tpcan = "Iluminação" Then
'Abre IF

                plamp =
Application.InputBox("Potência em W",
"Potência da lampada", , , , , Type:=1)
                nlamp =
Application.InputBox("", "Total de lampadas
no mesmo circuito", , , , , Type:=1)

                Potencia = (plamp / CLng(1000)
* nlamp)

                Range("B1").Value = tpcan
                Range("A3").Value = "Potência
Estimada"
                Range("B3").Value = Potencia

            End If          'Fecha If

        End If          'Fecha IF

    End If          'Fecha IF

```

```

'-----'
    FP = Application.InputBox("Caso
desconhecido, assumir o valor de 0.85",
"Factor de Potência", "0,85", , , , ,
Type:=1)

    tpalim = Application.InputBox("", "Qual o
tipo de Alimentação", "Monofasico |
Trifasico", , , , , Type:=2)

    If tpalim = "Monofasico" Then 'Abre IF

    Range("A2").Value = "Tipo de Alimentação"
    Range("B2").Value = tpalim

    U = 230

    Else

        If tpalim = "Trifasico" Then 'Abre IF

        Range("A2").Value = "Tipo de
Alimentação"
        Range("B2").Value = tpalim

        U = 400 * 1.732

        Else

            MsgBox ("Deve inserir Monofasico ou
Trifasico")

            End If 'Fecha IF

        End If 'Fecha IF
'-----'

    dist = Application.InputBox("Insira o
comprimento de cabo a ser protegido",
"Comprimento de Cabo", , , , , , Type:=1)

    Range("A6").Value = "Comprimento da
Canalização"
    Range("B6").Value = dist
'-----'

    tpcondu = Application.InputBox("Retirar o
que não se aplica", "Tipo de condutor:",
"Cobre | Alumínio", , , , , Type:=2)

    If tpcondu = "Cobre" Then 'Abre If

    Range("A5").Value = "Alma Condutora"

```

```

Range("B5").Value = tpcondut

ro = 0.0225
k = 143

Else

If tpcondut = "Aluminio" Then      'Abre
If
Range("A5").Value = "Alma Condutora"
Range("B5").Value = tpcondut

ro = 0.036
k = 94

Else

MsgBox ("Condutor não conhecido, inserir
condutor válido.")

End If      'Fecha IF

End If      'Fecha IF

'-----'
'DETERMINAR SECÇÃO DO CABO
I = (Potencia * CLng(1000)) / (U * FP)

Range("A7").Value = "Corrente Serviço"
Range("B7").Value = I

Worksheets("Cabos").Activate
If tpalim = "Monofasico" Then
'Abre IF

If tpcondut = "Cobre" Then
'Abre IF

For linha1 = 2 To 20

iz_cm = ActiveSheet.Range("C"
& linha1).Value

If iz_cm > I Then
'Abre If

iz_cm = ActiveSheet.Range("C"
& linha1).Value

s_cb = ActiveSheet.Range("B"
& linha1).Value

```

```

Worksheets("Ferramenta").Activate
    ActiveSheet.Range("A9").Value
= "Corrente de fusão"
    ActiveSheet.Range("B9") =
iz_cm

    ActiveSheet.Range("A8").Value
= "Secção do Condutor"
    ActiveSheet.Range("B8") =
s_cb

    Exit For

End If      'Fecha IF

Next linha1

Else

    Worksheets("Cabos").Activate

    For linha1 = 2 To 20

        iz_cm = ActiveSheet.Range("D" &
linha1).Value

        If iz_cm > I Then      'Abre
IF

            iz_cm =
ActiveSheet.Range("D" & linha1).Value

            s_cb =
ActiveSheet.Range("B" & linha1).Value

Worksheets("Ferramenta").Activate

ActiveSheet.Range("A9").Value = "Corrente de
fusão"

        ActiveSheet.Range("B9") =
iz_cm

ActiveSheet.Range("A8").Value = "Secção do
Condutor"

        ActiveSheet.Range("B8") =
s_cb

```

```

Exit For

End If      'Fecha IF

Next linha1

End If      'Fecha IF

Else ' Se for Trifásico

If tpcondut = "Cobre" Then
'Abre IF

Worksheets("Cabos").Activate

For linha1 = 21 To 39

iz_cm = ActiveSheet.Range("C" &
linha1).Value

If iz_cm > I Then      'Abre
IF

iz_cm =
ActiveSheet.Range("C" & linha1).Value

s_cb =
ActiveSheet.Range("B" & linha1).Value

Worksheets("Ferramenta").Activate

ActiveSheet.Range("A9").Value = "Corrente de
fusão"

ActiveSheet.Range("B9") =
iz_cm

ActiveSheet.Range("A8").Value = "Secção do
Condutor"

ActiveSheet.Range("B8") =
s_cb

Exit For

End If      'Fecha IF

Next linha1

Else

```

```

        For linha1 = 21 To 39

            Worksheets("Cabos").Activate

            iz_cm = ActiveSheet.Range("D" &
linha1).Value

                If iz_cm > I Then
'Abre IF

Worksheets("Ferramenta").Activate
                ActiveSheet.Range("A9").Value
= "Corrente de fusão"
                ActiveSheet.Range("B9") =
iz_cm

                ActiveSheet.Range("A8").Value
= "Secção do Condutor"
                ActiveSheet.Range("B8") =
s_cb

                Exit For

                End If      'Fecha IF

            Next linha1

        End If      'Fecha IF

    End If      'Fecha IF
'-----'
p_Amb = Application.InputBox("Retirar o que
não se aplica", "Tipo de Ambiente da
instalação", "Humido | Seco", , , ,
Type:=2)

        If p_Amb = "Humido" Then      'Abre IF

            ULim = 25

            Else

                If p_Amb = "Seco" Then      'Abre
IF

                    ULim = 50

                End If      'Fecha IF

        End If      'Fecha IF

```

```

Range("A16").Value = "Ambiente"
Range("B16").Value = p_Amb
Range("C16").Value = ULim
Range("D16").Value = "V"
'-----'
p_IT = Application.InputBox("", "Qual o tipo
de Sistema IT?", "Isolado | Impedante", , ,
, , Type:=2)

Range("A14").Value = "Sistema IT"

If p_IT = "Isolado" Then           'Abre IF
Range("B14").Value = p_IT

    Z = 3500

    i_1def = ULim / Z   'Eq. 16

    U_IT = 400

    Rf = ro * (dist / s_cb)

    Rpe = ro * (dist / s_cb)

    Iddf = 0.8 * ((0.5 * U_IT) / (Rf +
Rpe))   'Eq.22

    t = 0.2

Else

    If p_IT = "Impedante" Then
'Abre If
    Range("B14").Value = p_IT

    p_Neutro =
Application.InputBox("", "Neutro
Distribuido", "Sim | Não", , , , Type:=2)

    Z = 5 * 230

    Ra = (ULim / 230) * Z

    If p_Neutro = "Sim" Then
'Abre If
    Range("C14").Value = "Neutro
Distribuido"

    U_IT = 230

```

```

        If p_Amb = "Humido" Then
'Abre IF
        t = 0.5
        Else
        t = 0.8
        End If      'Fecha IF
        Else
        Range("C14").Value = "Neutro
não Distribuido"
        U_IT = 400
        If p_Amb = "Humido" Then
'Abre IF
        t = 0.2
        Else
        t = 0.4
        End If      'Fecha IF
        End If      'Fecha If
        i_1def = U / Z
        Rf = ro * (dist / s_cb)
        Rpe = ro * (dist / s_cb)
        Iddf = 0.8 * (U_IT / (Rf + Rpe))
        Else
        MsgBox ("Deve indicar uma
tipologia IT válida")
        End If      'Fecha If
        End If      'Fecha If
        massas = Application.InputBox("1)Ligadas
a um unico elétrodo de Terra; 2)Ligadas
individualmente ou por grupos directamente à

```

```

Terra", "Ligação das massas à Terra", "1 |
2", , , , , Type:=1)

        Range("A15").Value = "Ligação das
massas à Terra"

        If massas = "1" Then          'Abre IF
        Range("B15").Value = "Ligadas a um
unico eléetrodo de Terra"
'-----'
'Esquema de Ligação à Terra TN

        m = 1          'Eq.6

        IDef = Iddf
        Range("A12").Value = "Corrente de
Defeito"
        Range("B12").Value = IDef

        s_min = (Sqr(t) * IDef) / k
'Eq.24
        Range("A10").Value = "Secção Minima"
        Range("B10").Value = s_min

        Worksheets("Proteccao").Activate

        For linha2 = 2 To 25

            i_disp = ActiveSheet.Range("A" &
linha2).Value

                I2 = 1.45 * iz_cm

                If i_disp > I And i_disp < iz_cm
And I2 > iz_cm Then          'Abre if

                    Worksheets("Ferramenta").Activate
                    ActiveSheet.Range("A11").Value =
"Corrente de disparo"
                    ActiveSheet.Range("B11").Value =
i_disp

                    Exit For

                Else

                    Worksheets("Proteccao").Activate

                    i_disp = ActiveSheet.Range("A" &
linha2).Value

```

```

If i_disp > iz_cm Then 'Abre
If
    Worksheets("Ferramenta").Activate
    ActiveSheet.Range("A11").Value =
"Corrente de disparo"
    ActiveSheet.Range("B11").Value =
i_disp
    ActiveSheet.Range("B11").Select
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex =
xlAutomatic
        .Color = RGB(222, 0, 0)
        .TintAndShade = 0
        .PatternTintAndShade = 0
    End With

    Range("J5").Value = "Deve
considerar uma secção superior, de modo a
aumentar a corrente máxima admissível."

    Exit For

    End If 'Fecha IF

End If 'Fecha IF

Next linha2

Worksheets("Ferramenta").Activate
'-----'
    comp = (0.8 * U_IT * s_cb) / (ro * (1
+ m) * i_disp) 'Eq.13

    If comp < dist Then 'Abre If

        Range("J7").Value = "0
comprimento da canalização não é protegido na
sua totalidade."

        Else

            Range("J7").Value = "0
comprimento da canalização é totalmente
protegido."

            End If 'Fecha If
'-----'
Else

```

```

    If massas = "2" Then      'Abre IF
        Range("B14").Value = "Ligadas
individualmente ou por grupos directamente à
Terra"
'-----'
'Esquema de Ligação à Terra TT
    p_RTerra =
Application.InputBox("Conhecido?", "Valor da
resistência de Terra", "Sim | Não", , , ,
Type:=2)

        If p_RTerra = "Sim" Then 'Abre IF

            RTerra = Application.InputBox("",
"Inserir valor de Resistência de Terra", , ,
, , , Type:=1)

            Range("A13").Value = "Resistência
de Terra (Ohm)"
            Range("B13").Value = RTerra

        Else 'Quando não é conhecido a
resistencia de terra

            RTerra = U_IT / ULim

            Range("A13").Value = "Resistência
de Terra (Ohm)"
            Range("B13").Value = RTerra

        End If ' Fecha IF

        IResid = ULim / RTerra 'Eq.4

        Range("A11").Value = "Corrente
Residual / Sensibilidade"
        Range("B11").Value = IResid

        IDef = Iddf

        s_min = (Sqr(t) * IDef) / k
        Range("A10").Value = "Secção Mínima"
        Range("B10").Value = s_min

    End If ' Fecha IF

End If ' Fecha IF

End Sub

```