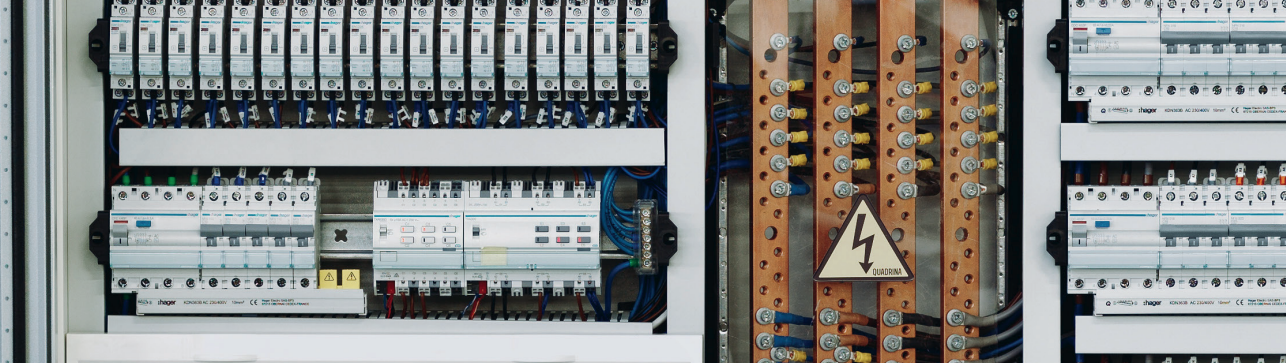




INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

DIMENSIONAMENTO E PROTEÇÃO
DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS

ENGEBOOK **ELEOTRECNIA**

António Gomes
Henrique Ribeiro Da Silva
José Beleza Carvalho

2ª EDIÇÃO



engebook

ÍNDICE

NOTA DE ABERTURA	XI
1. ASPETOS GERAIS	13
2. POTÊNCIAS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	19
2.1. Alimentação das instalações de utilização	21
2.1.1. Generalidades	21
2.1.2. Alimentação normal	21
2.1.2.1. Rede isolada, com produção própria	21
2.1.2.2. Rede elétrica de serviço público	21
2.1.3. Alimentação de emergência	22
2.1.4. Alimentação de socorro	23
2.2. Potências a considerar para o dimensionamento das instalações elétricas	23
2.2.1. Generalidades	23
2.2.2. Avaliação da potência de um circuito ou instalação de utilização	24
2.2.2.1. Generalidades	24
2.2.2.2. Potência instalada	24
2.2.2.3. Potência utilizada	26
2.2.3. Alguns aspetos regulamentares	27
2.2.3.1. Instalações de utilização de energia elétrica em baixa tensão	27
2.2.3.1.1. Generalidades	27
2.2.3.1.2. Locais de habitação	28
2.2.3.1.3. Locais de habitação estabelecidos em instalações coletivas	29
2.2.3.1.4. Locais anexos às habitações	30
2.2.3.1.5. Locais não destinados à habitação	30
2.2.3.1.6. Instalações coletivas	30
2.2.3.1.7. Lojas e pequenos estabelecimentos comerciais	32
2.2.3.2. Elementos de rede em urbanizações/ loteamentos de iniciativa privada	32
2.2.3.3. Rede particular de distribuição de energia elétrica em baixa tensão em condomínios fechados	33
2.2.3.3.1. Generalidades	33
2.2.3.3.2. Rede destinada ao abastecimento de instalações estabelecidas em locais residenciais ou de uso profissional (incluindo serviços comuns dos edifícios)	33
2.2.3.3.3. Rede destinada ao abastecimento de instalações não residenciais	34

3. CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS	35
3.1. Aspectos gerais	37
3.2. Designação de condutores isolados e cabos	38
3.2.1. Generalidades	38
3.2.2. Norma np 665	39
3.2.3. NORMA HD 361	41
3.3. Estabelecimento das canalizações elétricas	43
3.4. Correntes admissíveis nas canalizações elétricas	44
 4. APARELHAGEM DE PROTEÇÃO	 47
4.1. Aspectos gerais	49
4.2. Grandezas características	50
4.2.1. Valores estipulados	50
4.2.1.1. Valor estipulado	50
4.2.1.2. Corrente estipulada	50
4.2.1.3. Tensão estipulada	50
4.2.2. Correntes convencionais	51
4.2.2.1. Corrente convencional de não funcionamento (de um dispositivo de proteção)	51
4.2.2.2. Corrente convencional de funcionamento (de um dispositivo de proteção)	51
4.2.2.3. Poder de corte	51
4.2.2.4. Poder de fecho	51
4.3. Fusíveis	51
4.3.1. Generalidades	51
4.3.2. Fusíveis para usos domésticos e análogos	52
4.3.3. Fusíveis para usos industriais	53
4.3.4. Constituição	54
4.3.4.1. Base	54
4.3.4.2. Porta-fusível	55
4.3.5. Princípio de funcionamento	57
4.3.6. Gama de corte e categoria de utilização dos fusíveis	57
4.3.7. Características dos fusíveis	57
4.3.7.1. Fusíveis para usos domésticos e análogos	57
4.3.7.2. Fusíveis para usos industriais	58
4.3.7.2.1. Sistema de fusíveis do tipo a e b	58
4.3.7.2.2. Sistema de fusíveis do tipo f	60
4.4. Disjuntores	61

4.4.1. Generalidades	61
4.4.2. Principais elementos constituintes de um disjuntor magnetotérmico	62
4.4.3. Circuito elétrico de um disjuntor magnetotérmico	63
4.4.4. Princípio de funcionamento de um disjuntor magnetotérmico	63
4.4.4.1. Generalidades	63
4.4.4.2. Funcionamento térmico	63
4.4.4.3. Funcionamento magnético	64
4.4.4.4. Zonas de funcionamento de um disjuntor magnetotérmico	65
4.4.5. Disjuntores para instalações domésticas e análogas	66
4.4.5.1. Generalidades	66
4.4.5.2. Corrente estipulada	67
4.4.5.3. Corrente convencional de não funcionamento	67
4.4.5.4. Corrente convencional de funcionamento	68
4.4.5.5. Tempo convencional	68
4.4.5.6. Corrente de disparo instantâneo	69
4.4.5.7. Capacidade de curto-circuito estipulada	70
4.4.5.8. Marcação de disjuntores para uso doméstico ou análogo	70
4.4.6. Disjuntores de uso industrial	71
4.4.6.1. Generalidades	71
4.4.6.2. Corrente estipulada	72
4.4.6.3. Corrente convencional de não funcionamento	72
4.4.6.4. Corrente convencional de funcionamento	73
4.4.6.5. Tempo convencional	74
4.4.6.6. Marcação de disjuntores industriais	74
5. PROTEÇÃO DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS CONTRA SOBREINTENSIDADES	79
5.1. Aspectos gerais	81
5.2. Corrente de serviço	82
5.2.1. Sem consideração da carga harmónica	82
5.2.2. Considerando a componente harmónica	83
5.3. Proteção contra as sobrecargas	84
5.3.1. Generalidades	84
5.3.2. Localização dos dispositivos de proteção	86
5.3.3. Dispensa da proteção contra sobrecargas	86
5.3.3.1. Aspectos gerais	86
5.3.3.2. Dispensa da proteção contra as sobrecargas por razões de segurança	88

5.4. Proteção contra as correntes de curto-circuito	88
5.4.1. Generalidades	88
5.4.2. Determinação das correntes de curto-circuito presumidas	89
5.4.2.1. Aspectos gerais	89
5.4.2.2. Método da composição	90
5.4.2.3. Método convencional	90
5.4.2.4. Método das impedâncias	91
5.4.2.4.1. Aspectos gerais	91
5.4.2.4.2. Correntes máximas	92
5.4.2.4.3. Correntes mínimas	93
5.4.3. Cálculo das impedâncias de curto-circuito	94
5.4.3.1. Impedância da rede a montante (ZQ)	94
5.4.3.2. Impedância do transformador (zt)	94
5.4.3.3. Impedância do alternador ou máquina síncrona	95
5.4.3.4. Condensadores	98
5.4.3.5. Bobinas	99
5.4.3.6. Barramentos	99
5.4.3.7. Aparelhagem	99
5.4.3.8. Arco de defeito	100
5.4.3.9. Impedâncias dos condutores e cabos	100
5.4.4. Características dos dispositivos de proteção	102
5.4.5. Seleção dos dispositivos de proteção contra os curtos-circuitos	104
5.4.6. Localização dos dispositivos	106
5.4.7. Deslocação do dispositivo de proteção	107
5.4.8. Dispensa da proteção	110
5.5. Coordenação entre a proteção contra as sobrecargas e curtos-circuitos	110
5.5.1. Proteções garantidas pelo mesmo dispositivo	110
5.5.2. Proteções garantidas por dispositivos distintos.....	111
5.6. Seletividade	111
5.6.1. Generalidades	111
5.6.2. Tipos de seletividade	111
5.6.3. Principais princípios de seletividade	112
5.7. Filiação.....	113
 6. CORRENTES HARMÔNICAS E AS SUAS IMPLICAÇÕES NO DIMENSIONAMENTO E	
PROTEÇÃO DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS	115

6.1. Aspectos gerais	117
6.2. Identificação do problema.....	118
6.3. Efeitos dos harmónicos	119
6.3.1. Aspectos gerais	119
6.3.2. Efeitos instantâneos	120
6.3.3. Efeitos de longa duração	120
6.3.4. Efeitos dos harmónicos em equipamentos	120
6.3.4.1. Variadores de velocidade	120
6.3.4.2. Condensadores	121
6.3.4.3. Disjuntores e fusíveis	121
6.3.4.4. Equipamentos e instrumentos electrónicos	121
6.3.4.5. Iluminação	122
6.3.4.6. Aparelhagem de medida e contadores	122
6.3.4.7. Relés de protecção	122
6.3.4.8. Máquinas rotativas	122
6.3.4.9. Transformadores	123
6.3.4.10. Telecomunicações	124
6.3.4.11. Condutores	124
6.4. Características das grandezas não-sinusoidais	126
6.4.1. Valor eficaz de uma grandeza não-sinusoidal	127
6.4.2. Taxa de distorção	128
6.4.3. Taxa individual harmónica	129
6.4.4. Factor de potência e de desfasagem (da fundamental)	129
6.4.5. Factor de distorção	129
6.4.6. Factor de pico ou de crista	130
6.4.7. Recomendações e normalização	130
6.5. Algumas soluções clássicas de compensação	130
6.5.1. Redução de harmónicos das cargas não-lineares	130
6.5.2. Modificação da instalação	132
6.5.3. Isolamento de harmónicos	134
6.5.4. Utilização de filtros passivos	134
6.5.5. Utilização de filtros (compensadores) activos	136
6.5.5.1. Filtros série	137
6.5.5.2. Filtros paralelos	138
6.5.5.3. Características principais dos filtros activos seriais e paralelos	139
6.5.5.4. Filtros híbridos	139

6.5.5.4.1. Estrutura híbrida série	139
6.5.5.4.2. Estrutura híbrida paralela	140
7. QUEDA DE TENSÃO	143
7.1. Aspectos gerais	145
7.2. Quedas de tensão máximas admissíveis	146
7.2.1. Redes de distribuição de energia elétrica em baixa tensão	146
7.2.2. Instalações de utilização de energia elétrica em baixa tensão	146
7.3. Cálculo da queda de tensão	148
8. ASPETOS ECONÓMICOS NO DIMENSIONAMENTO DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS	155
8.1. Aspectos gerais	157
8.2. Dimensionamento económico de canalizações elétricas	158
8.2.1. Generalidades	158
8.2.2. Custo total de uma instalação	159
8.2.3. Secção económica de um condutor para uma dada carga	166
8.2.3.1. Metodologia de aplicação	166
8.2.3.2. Exemplo de aplicação	167
8.2.4. Gammas económicas de corrente para diferentes cabos empregados	168
8.2.4.1. Metodologia de aplicação	168
8.2.4.2. Exemplo de aplicação	169
8.3. Fixação dos valores máximos de perdas admissíveis nas canalizações	170
8.3.1. Generalidades	170
8.3.2. Circuito trifásico linear equilibrado.....	171
8.3.3. Circuito trifásico não-linear, equilibrado, com valores conhecidos de corrente do circuito (ib) e de taxa de distorção harmónica (thd)	172
8.3.4. Valores de referência para as perdas percentuais das canalizações	174
8.3.5. Exemplo de aplicação	175
9. NOTAS COMPLEMENTARES	179
NOTA COMPLEMENTAR 1.	181
NOTA COMPLEMENTAR 2.	183
NOTA COMPLEMENTAR 3.	185
NOTA COMPLEMENTAR 4.	186
NOTA COMPLEMENTAR 5.	188
LISTA DE FIGURAS	CXCI
LISTA DE TABELAS	CXCV

Nota de Abertura

A presente obra não substitui a legislação, regulamentos, normas em vigor, nem documentação técnica dos fabricantes dos equipamentos, nem exclui a sua consulta, ou a consulta das entidades nela mencionadas, uma vez que, e apesar de todo o esforço dos autores na sua elaboração, é suscetível de conter imprecisões e omissões, além de poder não abranger todos os aspetos relevantes da temática tratada.

As normas referidas na presente obra poderão ser adquiridas no Instituto Português da Qualidade (IPQ) que, entre outras atribuições, é o Organismo Nacional de Normalização.

A realização da presente obra teve como principais elementos bibliográficos as regras técnicas nela referidas assim como documentação técnicas de fabricantes de equipamentos. O principal elemento bibliográfico foi as "Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão, 1.a Edição Anotada, Volume I, II e III", coedição da Direção-Geral de Geologia e Energia (DGGE) e da Associação Certificadora de Instalações Elétricas (CERTIEL), dezembro de 2006, ISBN: DGGE-978-972-8268-37-4; CERTIEL-978-972-95180-4-1.

Os autores agradecem aos fabricantes de equipamentos, a disponibilidade para a integração, na presente obra, de diversa informação de documentos técnicos seus, assim como o uso de imagens ilustrativas de equipamentos relevantes na temática abordada.

Capítulo 1

Aspetos Gerais

1. Aspectos gerais

Para que seja possível utilizar com segurança a energia elétrica nas instalações elétricas de baixa tensão¹, os técnicos responsáveis² pelo projeto³, execução⁴ e exploração⁵ das instalações elétricas têm que garantir, nas respetivas áreas de intervenção, a eficaz proteção:

- › Das pessoas e animais;
- › Das canalizações elétricas;
- › Dos aparelhos de utilização.

¹ **Baixa Tensão (BT):** Entende-se, por instalações elétricas de baixa tensão, as instalações elétricas cuja tensão entre fases é igual ou inferior a 1000 V, em corrente alternada.

EN 60038:2011 - Tensões normais do CENELEC.

² **Técnico:** Pessoa singular com inscrição válida em organismo ou associação profissional, quando obrigatório, cujas qualificações, formação e experiência a habilitam a desempenhar funções no processo de elaboração de projeto, fiscalização de obra pública ou particular ou como diretor de obra da empresa responsável pela execução da obra.

Técnico responsável por instalações elétricas: Indivíduos que, preenchendo os requisitos fixados na Lei n.º 14/2015, 16 de março, podem assumir a responsabilidade pelo projeto, pela execução ou pela exploração das referidas instalações.

Lei n.º 14/2015, 16 de março: Estabelece os requisitos de acesso e exercício da atividade das entidades e profissionais responsáveis pelas instalações elétricas, conformando-os com a disciplina da Lei n.º 9/2009, de 4 de março, e do Decreto-Lei n.º 92/2010, de 26 de julho, que transpuseram as Diretivas n.os 2005/36/CE, de 7 de setembro, relativa ao reconhecimento das qualificações profissionais, e 2006/123/CE, de 12 de dezembro, relativa aos serviços no mercado interno.

Revoga: O Decreto-Lei n.º 229/2006, de 24 de novembro, o Decreto Regulamentar n.º 31/83, de 18 de abril, os artigos 16.º e 17.º do anexo I e os anexos II e III da Portaria n.º 662/96, de 14 de novembro e a Portaria n.º 558/2009, de 27 de maio.

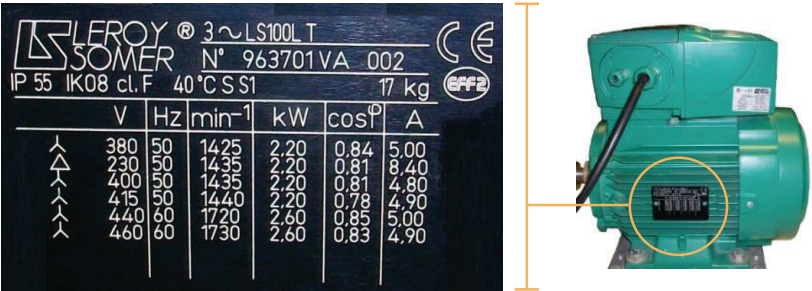
³ **Projetista:** A entidade singular ou coletiva que assume a responsabilidade pela elaboração de projeto ou programa, no âmbito, ou tendo em vista, a realização de um procedimento pré-contratual público.

Projeto: O conjunto de documentos escritos e desenhados que definem e caracterizam a conceção funcional, estética e construtiva de uma obra, compreendendo, designadamente, o projeto de arquitetura e projetos de engenharia.

⁴ **Execução:** Realização da totalidade ou parte da obra, de acordo com o projeto e as disposições legais ou regulamentares aplicáveis.

⁵ **Exploração:** Conjunto das actividades necessárias ao funcionamento de uma instalação eléctrica, incluindo as manobras, o comando, o controlo, a manutenção, bem como os trabalhos eléctricos e os não eléctricos.

A **Figura 2.1.** mostra, a título de exemplo, um motor elétrico assim como a respetiva chapa de características, na qual, entre outros aspetos, se encontra a indicação da potência , fator de potência e rendimento do mesmo em regime nominal.



Meramente a título indicativo, a **Tabela 2.1.** mostra os valores típicos da potência de alguns equipamentos elétricos utilizados nas instalações elétricas, nomeadamente nas residenciais.

Tabela 2.1. Potências típicas de alguns equipamentos

Equipamento	Potência (VA)
Exaustor	100 a 350
Batedeira/varinha	100 a 400
Fritadeira	1 000 a 2 000
Torradeira	500 a 1 000
Frigorífico	100 a 500
Arca frigorífica	100 a 500
Placa vitrocerâmica	3 000 a 6 000
Forno	2 000 a 6 000
Micro-ondas	750 a 3 000
Máquina de lavar louça	1 250 a 3 000
Televisão	100 a 300
Ar condicionado	500 a 4 000
Aquecedor elétrico	750 a 4 000
Máquina de barbear	25 a 75
Secador de cabelo	350 a 1 500
Impressora	25 a 75
Computador	150 a 350
Máquina de lavar roupa	2 000 a 3 000
Máquina de secar roupa	2 000 a 3 500
Ferro de engomar	750 a 1 500
Aspirador	750 a 2 000

4.3.4. Constituição

Um fusível é constituído, no essencial, pelos seguintes elementos principais:

- › Base;
- › Porta-fusível.

4.3.4.1. Base

A base é a parte fixa de um fusível, munida de contactos, de terminais e invólucros, quando aplicável.

A **Figura 4.1.** mostra exemplos de bases fusíveis de fusíveis de facas.



Figura 4.1. Bases de fusíveis de facas

A base tem como elementos constituintes os terminais, os contactos e o suporte ou invólucro em material isolante.

A **Figura 4.2.** indica os principais elementos constituintes de uma base fusível para fusível de facas.



Figura 4.2. Principais elementos constituintes de uma base fusível para fusível de facas

Na **Figura 4.4.** podemos ver exemplos de porta-fusíveis de facas.



Figura 4.4. Porta-fusíveis de fusíveis de facas

A **Figura 4.5.** mostra um corte de um porta-fusível de um fusível de facas, com a indicação dos diversos elementos constituintes.

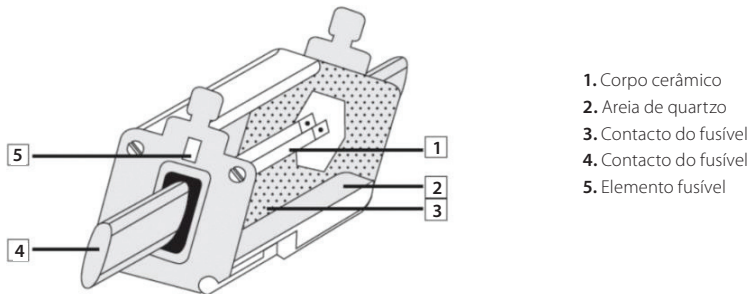


Figura 4.5. Corte de um porta-fusível de um fusível de facas

A **Figura 4.6.** mostra um exemplo de um porta-fusível cilíndrico.



Figura 4.6. Porta-fusível cilíndrico

A **Figura 4.7.** mostra um corte de um porta-fusível de um fusível cilíndrico, com a indicação dos diversos elementos constituintes.

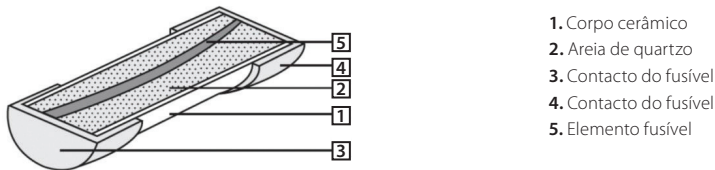


Figura 4.7. Corte de um porta-fusível de um fusível cilíndrico

Tabela 4.3. Tensão estipulada de sistemas fusíveis para uso industrial do tipo A e B

	Elemento de substituição	Base
Corrente alternada	400 V, 500 V e 690 V	≥690 V
Corrente contínua	250 V e 400 V	≥690 V

ii. Corrente estipulada

Os valores da tensão estipulada de sistemas fusíveis para uso industrial do tipo A e B são os indicados na **Tabela 4.4**.

Tabela 4.4. Corrente estipulada de sistemas fusíveis para uso industrial do tipo A e B

Elemento de substituição						Porta-fusível	
Dimensão	Corrente estipulada máxima (In) A						Corrente estipulada (A)
	gG			aM			
	400 V c.a.	500 V c.a.	630 V c.a.	400 V c.a.	500 V c.a.	630 V c.a.	
000	160	125	63	100	80	160	
00	160	160	100	160	160	160	
0*	160	160	100	160	100	160	
1	250	250	200	250	250	250	
2	400	400	315	400	400	400	
3	630	630	500	630	630	630	
4	-	1 000	800	1 000	1 000	1 000	
4a	1 250	1 250	1000	1 250	1 250	1250	
*Não permitido para novas instalações exceto para os elementos de substituição com percutor.							

iii. Correntes e tempos convencionais

Os valores das correntes e tempos convencionais dos sistemas fusíveis para uso industrial do tipo A e B são os indicados na **Tabela 4.5**.

Tabela 4.5. Correntes e tempos convencionais de sistemas fusíveis para uso industrial do tipo A e B, tipo gG

Corrente estipulada (In) (A)	Tempos convencionais (h)	Corrente convencional (A)	
		Inf	I2
$In \leq 4$	1	1,5 In	2,1 In
$4 < In \leq 16$	1	1,5 In	1,9 In
$16 \leq In \leq 63$	1	1,25 In	1,6 In
$63 < In \leq 160$	2	1,25 In	1,6 In
$160 < In \leq 400$	3	1,25 In	1,6 In
$400 < In$	4	1,25 In	1,6 In

iv. Poder de corte estipulado

O poder de corte dos sistemas fusíveis para uso industrial do tipo A e B são os indicados na **Tabela 4.6**.

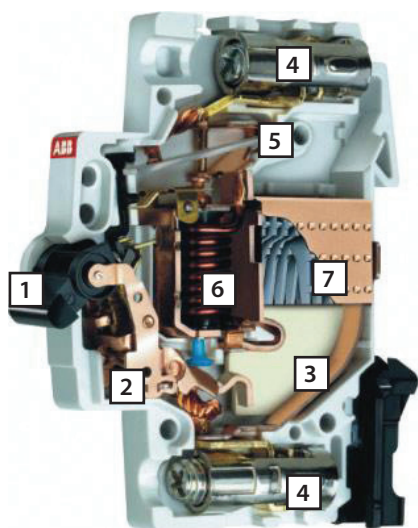
Existem ainda outros tipos de disjuntores, como os disjuntores para equipamentos, não objeto do presente trabalho¹⁰³.

4.4.2. Principais elementos constituintes de um disjuntor magneto-térmico

Um disjuntor magnetotérmico é fundamentalmente constituído pelos seguintes elementos principais:

- › Cérebro (relés);
- › Órgão de disparo (disparador);
- › Órgão de corte (interruptor);
- › Meios de extinção do arco elétrico¹⁰⁴.

Na **Figura 4.8.** pode-se observar um corte de um disjuntor magnetotérmico com indicação dos seus principais elementos constituintes.



1. Alavanca de comando
2. Mecanismo de ligação/desligamento
3. Contactos
4. Terminais de ligação
5. Relé térmico - Bimetálico
6. Relé magnético - Bobine
7. Câmara de extinção do arco elétrico

(Cortesia ABB)

Figura 4.8. Principais elementos constituintes de um disjuntor magnetotérmico

¹⁰³ NP EN 60934: Disjuntores para equipamento (DPE).

¹⁰⁴ Câmaras de extinção do arco elétrico.

A **Figura 4.11.** mostra o funcionamento do relé magnético de um disjuntor magnetotérmico.

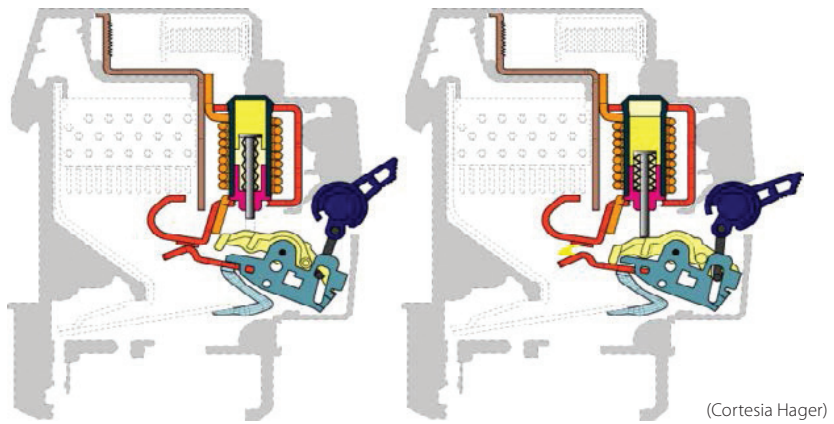


Figura 4.11. Funcionamento do relé magnético de um disjuntor magnetotérmico

4.4.4.4. Zonas de funcionamento de um disjuntor magnetotérmico

A **Figura 4.12.** mostra a curva tempo-corrente, característica $t(I)$, de um disjuntor magnetotérmico e a indicação das zonas de funcionamento térmico e magnético. As curvas de funcionamento e de não-funcionamento dos aparelhos de proteção correspondem aos limites superior e inferior das suas zonas de funcionamento.

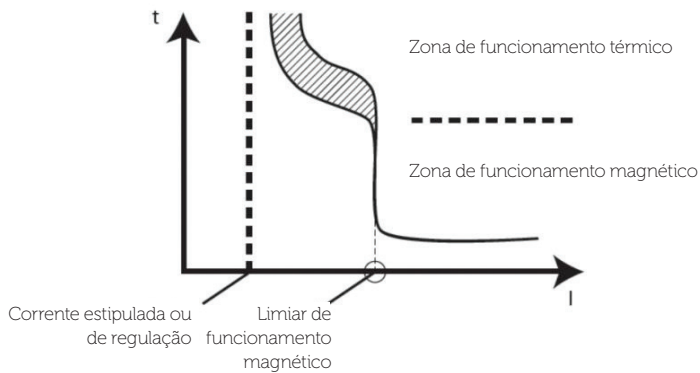


Figura 4.12. Zonas de funcionamento de um disjuntor magnetotérmico

4.4.5.6. Corrente de disparo instantâneo

Para os disjuntores magnetotérmicos de uso doméstico e análogo (EN 60898), as gamas de corrente de disparo instantâneo são as indicadas na **Tabela 4.14**.

Tabela 4.14. Gamas de correntes de disparo instantâneo de disjuntores para uso doméstico ou análogo

Tipo	Gama	Utilização
Z	Disparo instantâneo para correntes entre 2,4 a 3,6 vezes a corrente estipulada.	Utilizados para proteção de circuitos eletrônicos
B	Disparo instantâneo para correntes entre 3 a 5 vezes a corrente estipulada.	Utilizados principalmente na proteção de circuitos com características resistivas ou com grandes distâncias de cabos envolvidas. Ex: Lâmpadas incandescentes, chuveiros, aquecedores elétricos, etc.
C	Disparo instantâneo para correntes entre 5 a 10 vezes a corrente estipulada.	Aplicados para a proteção de circuitos com instalação de cargas indutivas. Ex: Lâmpadas fluorescentes, frigoríficos, arcas congeladoras, máquinas de lavar e secar, etc.
D	Disparo instantâneo para correntes entre 10 a 20 vezes a corrente estipulada.	Aplicados para a proteção de circuitos com correntes de arranque significativas. Ex: Motores elétricos, bombas elétricas, etc.
MA	Disparo instantâneo para correntes entre 12 a 14 vezes a corrente estipulada.	Possui somente relé magnético. Destinado a garantir a máxima continuidade de serviço.

A **Figura 4.13**. mostra as curvas tempo/corrente de disjuntores para uso doméstico ou análogo mais comuns.

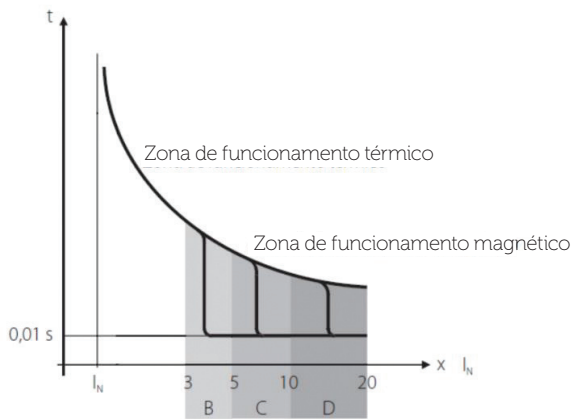


Figura 4.13. Curvas tempo/corrente de disjuntores para uso doméstico ou análogo

Num circuito com presença de harmónicos a corrente de serviço será dada por:

$$I_B = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}$$

I_B Corrente do circuito (A)
 I_h Valor eficaz da corrente de ordem harmónica h (A)
 I_1 Valor eficaz da componente fundamental da corrente (A)

5.3. Proteção contra as sobrecargas

5.3.1. Generalidades

Devem ser previstos dispositivos de proteção que interrompam as correntes de sobrecarga dos condutores dos circuitos antes que estas possam provocar aquecimentos prejudiciais ao isolamento, às ligações, às extremidades ou aos elementos colocados nas proximidades das canalizações.

As características de funcionamento dos dispositivos de proteção das canalizações contra as sobrecargas devem satisfazer, simultaneamente, às duas condições seguintes:

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45 I_z$$

I_B Corrente de serviço do circuito (A)
 I_n Corrente estipulada do dispositivo de proteção (A)
 I_z Corrente admissível na canalização (A)
 I_2 Corrente convencional de funcionamento (A)

Na prática, I_2 é igual:

- à corrente de funcionamento, no tempo convencional, para os disjuntores;
- à corrente de fusão, no tempo convencional, para os fusíveis do tipo gG.

A **Figura 5.1.** ilustra as condições acima referidas.

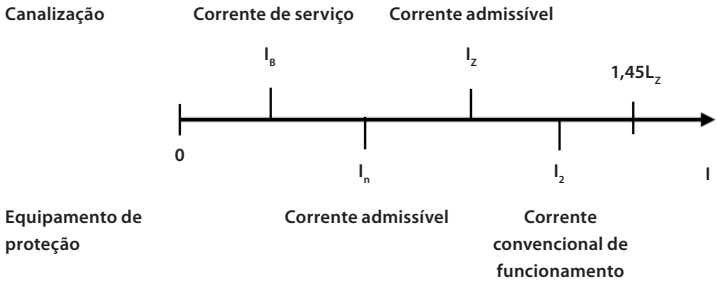


Figura 5.1. Coordenação entre os condutores e os dispositivos de proteção

encontrar a hipotenusa. O comprimento deste segmento dá-nos a máxima extensão do cabo de $4 \times 95 \text{ mm}^2$ protegido por fusíveis gG de 160 A.

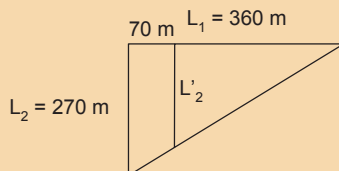


Figura 5.8. Aplicação da regra do triângulo

Da semelhança entre os dois triângulos (mesma tangente) pode-se tirar a seguinte relação:

$$\frac{270}{360} = \frac{L'_2}{360 - 70} \rightarrow 270 = L'_2 \cdot 217,5 \text{ m}$$

Como L'_2 é maior que os 60 m do cabo de $4 \times 95 \text{ mm}^2$ pode-se considerar que este se encontra protegido contra curtos-circuitos.

Este método do triângulo pode generalizar-se a derivações sucessivas. Deste modo dispensa-se o cálculo das correntes de curto-circuito.

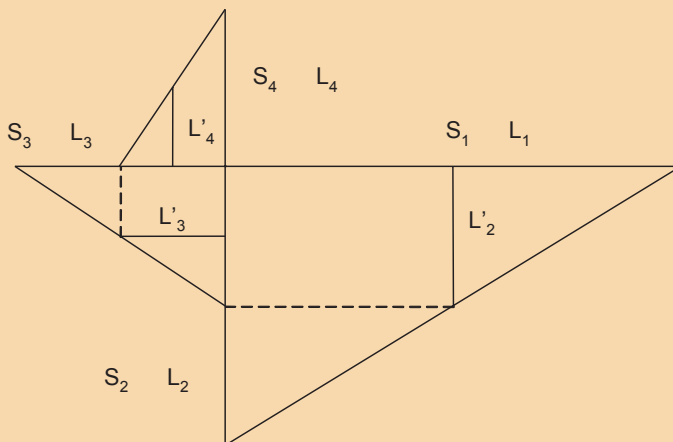


Figura 5.9. Aplicação da regra do triângulo a derivações sucessivas

- › fontes ininterruptíveis (uninterruptible power supplies);
- › balastros electrónicos e de núcleo de ferro (saturados);
- › equipamento electrónico de controle de processos, controladores lógicos programáveis (PLCs), etc;
- › computadores pessoais, impressoras, etc;
- › variadores de luminosidade (dimmers);
- › equipamento de aquecimento por indução;
- › equipamento eléctrico de soldadura;
- › funcionamento de transformadores nos limites da saturação;
- › geradores;
- › motores de indução com rotor em gaiola; etc

A **Figura 6.1.** mostra a acção das cargas poluidoras sobre a qualidade da onda de tensão.

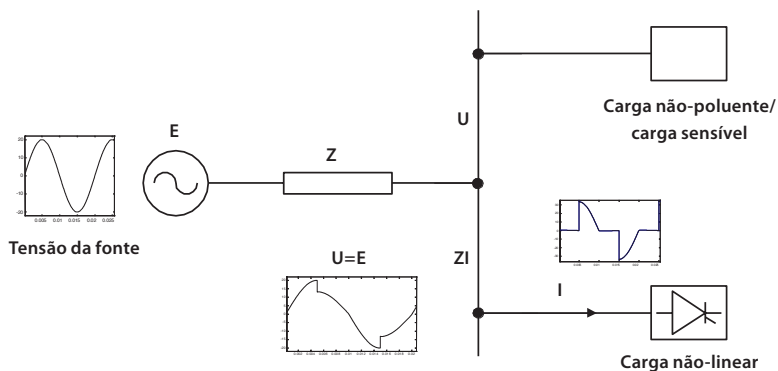


Figura 6.1. Acção das cargas poluidoras sobre a qualidade da tensão

6.3. Efeitos dos harmónicos

6.3.1. Aspetos gerais

De um modo geral os equipamentos geradores de harmónicos, quando considerados individualmente, provocam distorção em escala reduzida, exceptuando certas grandes cargas não-lineares como fornos a arco, cicloconverters, sistemas electrónicos de grande potência com regulação de fase, rectificadores não-controlados com condensadores de filtragem (*smoothing*): é a extensão do seu número que causa sérios problemas.

A **Figura 6.4.** mostra uma bobine de alisamento (*smoothing inductor - choke*) BA em série com a carga, para reduzir o conteúdo harmónico da corrente.

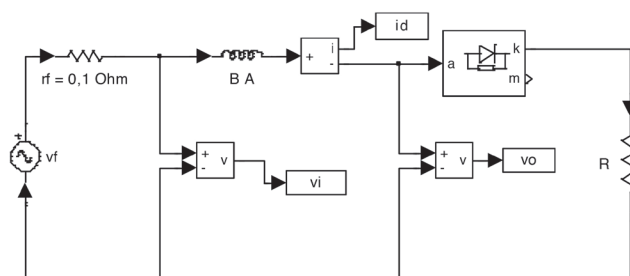
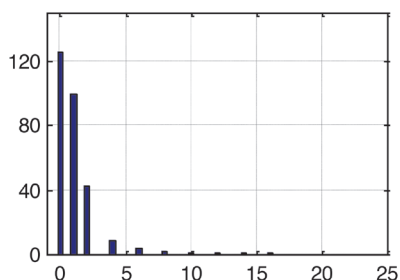


Figura 6.4. Bobine de alisamento BA em série com a carga

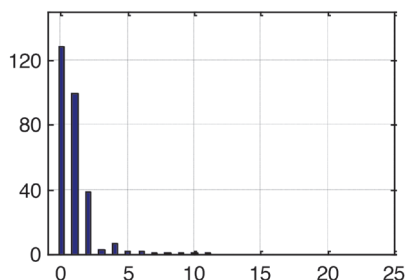
Com esta montagem reduzem-se os harmónicos de corrente, especialmente os de ordem elevada, e como tal também o valor eficaz da corrente.

Esta solução é igualmente adequada para sistemas rectificadores com condensadores de filtragem instalados à cabeça. No entanto deve referir-se que, se é verdade que se reduz o conteúdo harmónico da tensão a montante da instalação, ele, pelo contrário, vem incrementado aos terminais da carga não-linear.

Na **Figura 6.5.** pode-se apreciar uma redução nas amplitudes dos harmónicos mais importantes devida à inclusão de uma bobine de 50mH. Igualmente se nota o aparecimento de ordens ímpares no espectro. As amplitudes encontram-se referidas à da fundamental.



Espectro da corrente original



Espectro da corrente após inserção de uma bobine de alisamento

Figura 6.5. Efeito da inserção de uma bobine de alisamento no espectro da corrente

Algumas considerações acerca da aplicabilidade deste filtro devem ser feitas:

1. A eliminação de harmónicos de tensão a montante do ponto de ligação pode não ser de grande utilidade pois de um modo geral pode considerar-se satisfatória a qualidade da energia da rede.
2. A incorporação de um elemento em série com a rede não é fácil (levanta problemas, por ex., como o seu comportamento a curtos-circuitos).
3. De um modo geral, é mais útil investigar as causas da distorção da tensão da rede de alimentação.

6.5.5.2. Filtros paralelos

O princípio de funcionamento do filtro paralelo consiste na geração de correntes da mesma amplitude e em oposição de fase de modo a que tenham uma acção destrutiva sobre aquelas componentes da corrente da carga que se pretendem eliminar.

As correntes não desejadas podem ser harmónicos como também correntes de frequência fundamental caso se queira compensar potência reactiva ou de desequilíbrio.

Este tipo de filtro activo é o mais empregado em aplicações industriais. Este filtro tem ainda a capacidade de amortecer a ressonância paralela entre eventuais filtros passivos existentes e a impedância da rede.

A **Figura 6.10.** mostra o princípio de funcionamento dos filtros activos paralelos.

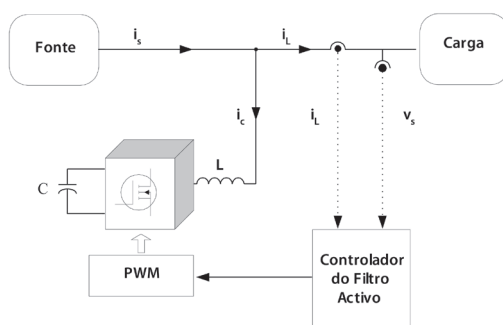


Figura 6.10. Princípio de funcionamento dos filtros activos paralelos

O objectivo do algoritmo de controle é o de gerar uma tensão que se oponha à circulação de correntes harmónicas para a fonte comportando-se, pois, como uma impedância de valor fixo k para cada frequência harmónica. Daí resulta uma filtragem passiva mais eficiente pois a presença dessa “impedância” série força a circulação das correntes indesejadas para o filtro passivo. Por outro lado, o filtro activo isola a carga das componentes harmónicas já existentes na fonte e protege o filtro passivo de poder ser sobrecarregado.

Esta topologia é muitas vezes designada como isolador harmónico. No entanto esta topologia cria problemas de protecção contra sobreintensidades (na ocorrência de curto-circuito) e de capacidade do transformador uma vez que este é percorrido pela maior parte da corrente de carga.

Como resultado destas diversas instalações e das suas características apresenta-se a **Tabela 6.2.** onde se faz o resumo dos seus traços principais.

Tabela 6.2. Características das soluções híbridas

Características	Tipo		
	Filtro activo ligado em série com filtro passivo paralelo	Filtro activo paralelo com filtro passivo paralelo	Filtro activo série com filtro passivo paralelo
Função do filtro activo	Compensação de harmónicos ou mitigação de harmónicos, I_{hcarga}	Compensação de harmónicos ou mitigação de harmónicos, I_{hcarga}	Isolamento de harmónicos e mitigação de harmónicos, U_{prede} e I_{hcarga}
Adequação ao tipo de carga deformante	Podem ser usados filtros passivos paralelos já existentes Fácil protecção do filtro activo	Podem ser aplicados quaisquer filtros activos paralelos. Pode-se controlar a potência reactiva	Redução da potência do filtro série Podem ser usados filtros passivos paralelos já existentes Não há corrente harmónica a fluir através do filtro activo
Problemas ou atributos	Não proporciona controle da potência reactiva Fácil inserção Sem risco de ressonância	Partilha de compensação no domínio da frequência entre filtros activos e passivos Fácil inserção Risco de ressonância	Difícil de proteger o filtro activo contra sobreintensidades Não proporciona controle da potência reactiva Difícil inserção Sem risco de ressonância
Melhoramento do factor de desfasagem	Sim	Sim	Sim
Desempenho	Médio	Bom	Médio
Situação presente	Fase comercial	Fase comercial	Fase comercial

$$V_1 = V_0 \cos \theta - ZI \cos \delta$$

$$\sin \theta = \frac{ZI}{V_0} \sin \delta \quad \cos \theta = \sqrt{1 - \left(\frac{ZI}{V_0} \sin \delta \right)^2}$$

$$V_1 = V_0 \sqrt{1 - \left(\frac{ZI}{V_0} \sin \delta \right)^2} - ZI \cos \delta$$

k

Aplicando o teorema de Taylor ao desenvolvimento da raiz, resulta que:

$$\sqrt{1+k} = 1 + \frac{1}{2}k - \frac{1}{8}k^2 + \frac{1}{16}k^3 - \frac{5}{128}k^4 + \dots \quad |k| < 1$$

$$V_0 - V_1 = ZI \cos \delta + \frac{(ZI \sin \delta)^2}{2V_0} + \frac{(ZI \sin \delta)^4}{8V_0^3} + \frac{(ZI \sin \delta)^6}{16V_0^5} + \frac{5 \times (ZI \sin \delta)^8}{128V_0^7} + \dots$$

$$V_0 - V_1 = RI_a + XI_r + \underbrace{\frac{(XI_a - RI_r)^2}{2V_0} + \frac{(XI_a - RI_r)^4}{8V_0^3} + \frac{(XI_a - RI_r)^6}{16V_0^5} + \frac{5 \times (XI_a - RI_r)^8}{128V_0^7} + \dots}_{\varepsilon}$$

Com $I_a = I \cos \varphi$ e $I_r = I \sin \varphi$

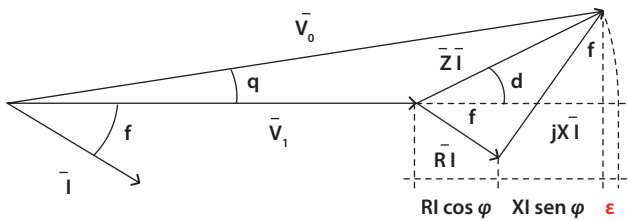


Figura 7.3. Diagrama vetorial das tensões com indicação do erro devido às aproximações consideradas

8.2.2. Custo total de uma instalação

O custo total de uma instalação pode ser definido da seguinte forma.

$$C_T = C_I + C_E$$

C_T Custo total
 C_I Custo de investimento
 C_E Custo de exploração

A **Figura 8.1.** mostra as curvas típicas do custo de exploração e do custo de investimento, em função da secção nominal dos condutores.

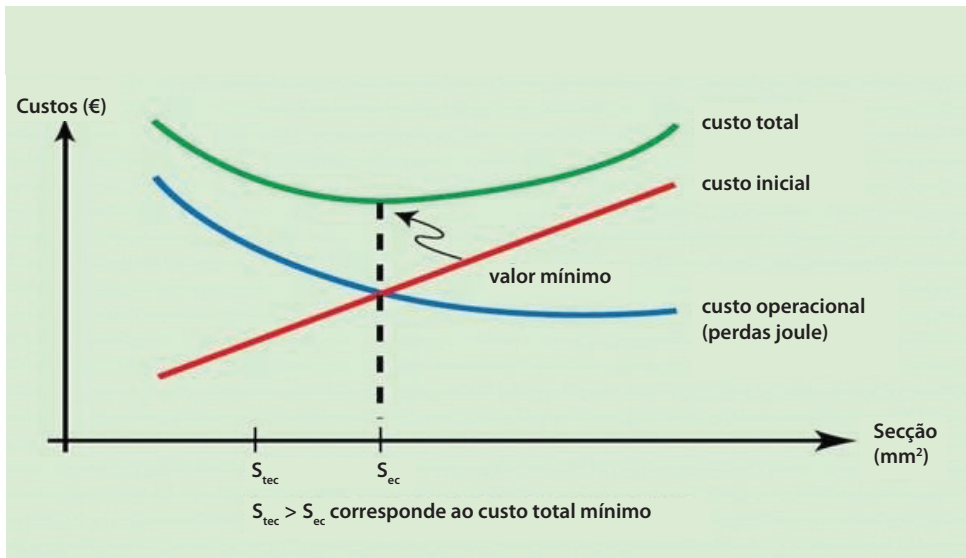


Figura 8.1. Custo total de uma instalação

A função custo total é obtida somando as curvas do custo de investimento e de exploração.

O custo de exploração de uma instalação é composto por duas partes:

- Custos devidos às perdas de energia;
- Custos devidos ao aumento de potência.

$$\theta_m = \frac{\theta - \theta_a}{3} + \theta_a$$

- θ_m Temperatura média do condutor (°C)
 θ Temperatura correspondente a I_z (°C)
 θ_a Temperatura ambiente (°C)
 3 Fator empírico

O número de horas de utilização¹⁷⁸ das perdas é dado pela relação:

$$T = \int_0^{8760} \frac{I^2(t)}{I_{máx}^2} dt$$

- T Número de horas de utilização das perdas (h/ano)
 I Corrente de serviço (A)
 $I_{máx}$ Corrente máxima admissível (A)
 t Tempo (h)

Na **Figura 8.2.** podemos apreciar um exemplo de diagrama de carga diário, que traduz a variação da corrente com o tempo.

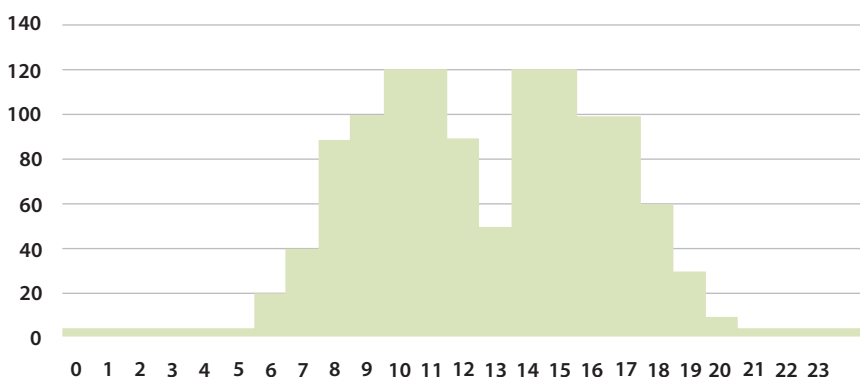


Figura 8.2. Diagrama de carga $I(t)$

A **Figura 8.3.** representa o chamado diagrama normalizado $I_{norm}(t)$ que resulta do precedente dividindo-o por $I_{máx}$.

A ordenada máxima passa a ser obviamente 1. A forma do gráfico, no entanto, continua a ser a mesma.

¹⁷⁸ **Número de horas de utilização das perdas (T):** Consiste no número de horas por ano durante as quais deverá circular a corrente máxima ($I_{máx}$) para que se produza o mesmo valor de perda anual de energia que a produzida pela corrente real e variável da carga.

8.2.3.2. Exemplo de aplicação

Na **Figura 8.5.** apresenta-se uma simulação em Excel, usando o método da secção económica de um condutor para uma dada carga, para quatro cabos diferentes, 3 isolados a XLPE, de cobre e alumínio, e um isolado a PVC, de alumínio.

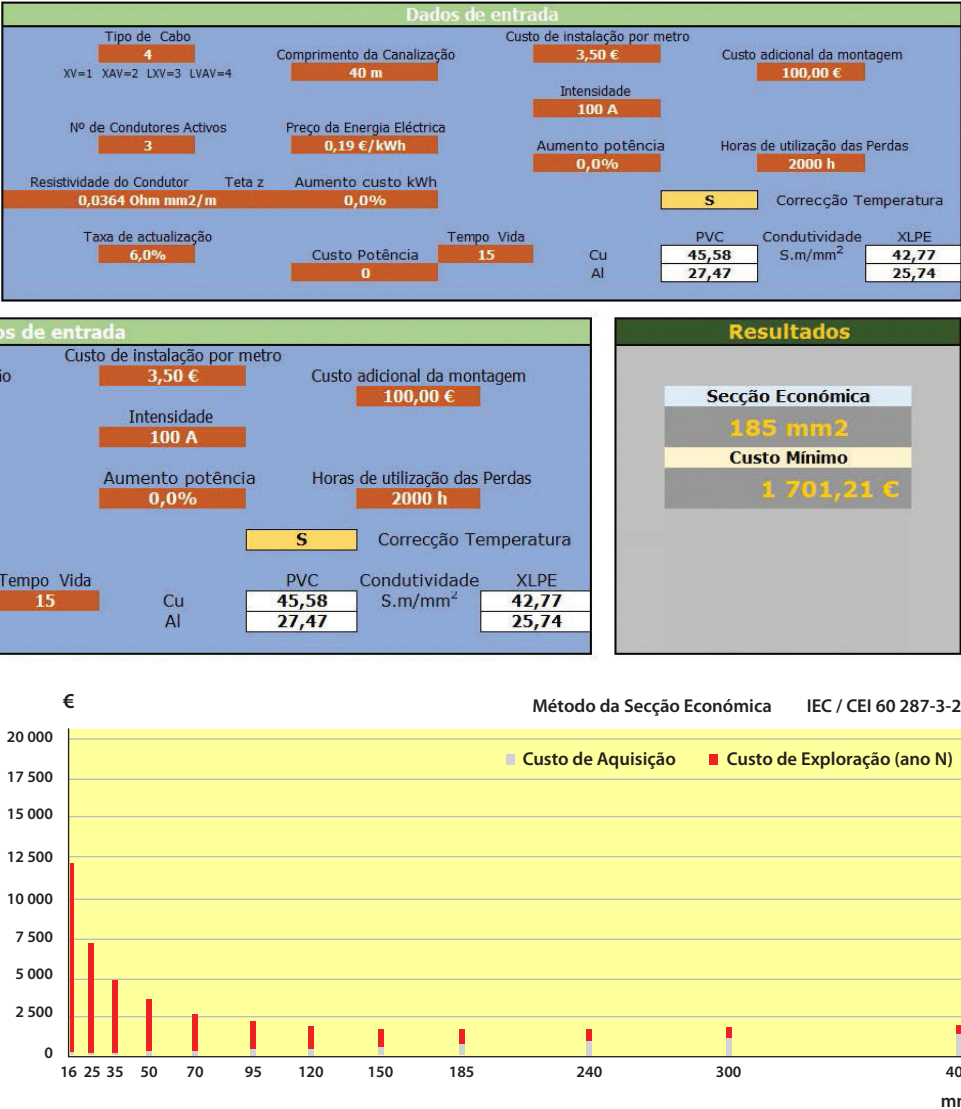


Figura 8.5. – Estudo realizado através do método da secção económica de um condutor para uma dada carga

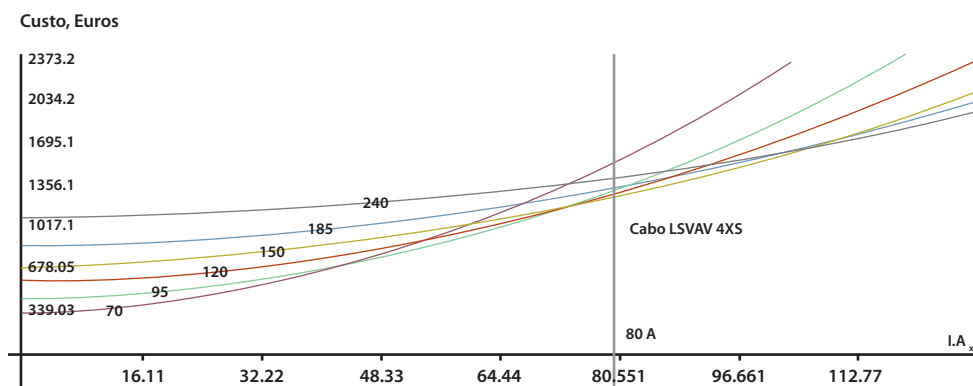


Figura 8.7. – Zonas económicas de corrente

Pode-se assim concluir que a secção económica para o cabo é de 150 mm².

8.3. Fixação dos valores máximos de perdas admissíveis nas canalizações

8.3.1. Generalidades

A metodologia sugerida pelo presente método, implementado em Hong-Kong, conduziu a resultados significativos no que se refere à poupança de energia eléctrica, comprovados pelo Departamento Respetivo, no decorrer de estudos realizados nos últimos 30 anos, junto dos operadores que voluntariamente adoptaram este procedimento.

Esta metodologia consiste em fixar os valores máximos de perdas admissíveis nas canalizações, ou seja, a de impor rendimentos mínimos das linhas¹⁸¹.

Para além das condições técnicas de temperatura e queda de tensão, a máxima perda de potência passa a ser critério de dimensionamento.

Na operacionalização desta metodologia consideram-se duas situações distintas:

- › Circuitos trifásicos lineares equilibrados;
- › Circuitos trifásicos não-lineares.

¹⁸¹ Trata-se de uma outra metodologia de eficiência energética diferente das referidas na norma IEC 60287-3-2.

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

DIMENSIONAMENTO E PROTEÇÃO DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS

ENGEBOOK **ELEOTRECNIA**

António Gomes, Henrique Ribeiro Da Silva, José Beleza Carvalho

Sobre a obra

Esta obra pretende ser, acima de tudo, uma ferramenta didática de apoio aos alunos de cursos de engenharia eletrotécnica, bem como a técnicos responsáveis pelo projeto, execução e exploração de instalações elétricas. Pretende ser ainda uma ferramenta prática de estudo e de trabalho, capaz de transmitir conhecimentos técnicos, normativos e regulamentares sobre o dimensionamento e proteção de canalizações elétricas aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação nas quais sejam intervenientes, selecionar o tipo de canalização e o modo de instalação mais adequados, de forma a maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como os custos de execução e exploração das instalações.

Sobre os autores

António Augusto Araújo Gomes

Bacharel em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto. Licenciado e Mestre (pré-Bolonha) em Engenharia Eletrotécnica e Computadores pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Professor adjunto no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1999. Coordenador de Obras na CERBERUS – Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Sócio da empresa Neutro à Terra – Gabinete de Engenharia Lda (2002 a 2006). Prestação de serviços de formação e/ou projeto e/ou assessoria e/ou consultoria no âmbito das instalações elétricas, telecomunicações, segurança, gestão de energia, eficiência energética, a diversas entidades, nomeadamente: NORVIA – Consultores de Engenharia, S.A.; Schumal – Engenharia e Serviços, Lda; ENERKO – Consultores de Engenharia, Lda; ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade; Quitérios – Fábrica de Quadros Elétricos, S.A.; IEP – Instituto Eletrotécnico Português; CENERTEC – Centro de Energia e Tecnologia; ANACOM – Autoridade Nacional das Telecomunicações; IDT – Instituto para o Desenvolvimento Tecnológico; EDV – Agência de Energia Entre Douro e Vouga.

Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica, ramo de Produção, Transporte e Distribuição de energia, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e Mestre (pré-Bolonha) em Eletrónica Industrial pela Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

José António Beleza Carvalho

Bacharel e Licenciado em Engenharia Eletrotécnica pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto, Mestre e Doutor em Engenharia Eletrotécnica na especialidade de Sistemas de Energia pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Professor Coordenador no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, desempenhando atualmente as funções de Diretor do curso de Mestrado em Sistemas Elétricos de Energia. É autor de vários artigos publicados em conferências nacionais e internacionais, diretor da revista neutro-à-terra e integrou vários júris de provas públicas de doutoramento e para a carreira do ensino superior.

Apoio à Edição

:hager

Parceiro de Comunicação

o electricista[®]

Também disponível em formato e-book



ISBN: 978-989-892-718-7



www.engebook.pt

engebook