

8. Aterramento e Qualidade da Energia Elétrica

Em primeiro lugar é importante esclarecer o que significa e para que serve o aterramento do sistema elétrico. O aterramento não é feito para servir de retorno das correntes de desequilíbrio entre fases. Se assim fosse não haveria necessidade do fio neutro no caso monofásico, bastaria aterrar o neutro das cargas.

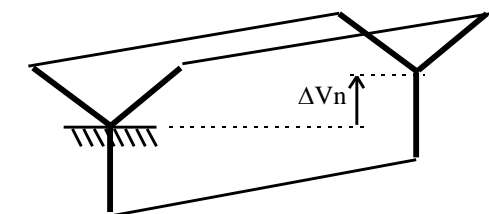
A função do aterramento é proporcionar uma referência comum para as tensões do sistema. A Terra, por apresentar o mesmo potencial em todos os pontos sob condições normais, pode ser considerada o potencial neutro ou zero, em relação ao qual se medem as outras tensões.

O potencial da Terra se mantém uniforme porque existe certa condutividade do solo, que tende a uniformizar a distribuição das cargas na sua superfície, impedindo que as cargas elétricas se acumulem em determinadas regiões. Sob condições impostas externamente, como nuvens carregadas eletrostaticamente, podem ocorrer acúmulos correspondente de cargas simétricas na terra. Nessas condições, o potencial da terra deixa de ser uniforme.

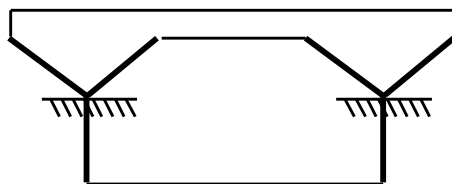
Em virtude de a terra ser um (mau) condutor, ocorre que, de fato, pode haver corrente de retorno se um sistema elétrico desequilibrado for aterrado. Mas essa função de caminho de retorno deve ser a atribuição do condutor neutro que conecta os pontos comuns na ligação trifásica a quatro fios (Y-Y).

8.1. Aterramento com ou sem fio de retorno

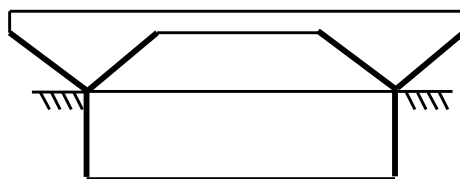
Com relação ao aterramento de um sistema trifásico, os principais casos a analisar são mostrados na Figura 8.1.



a) Atterramento parcial sem fio de retorno



b) Atterramento pleno sem fio de retorno



c) Atterramento com fio de retorno

Figura 8.1 Sistemas com aterramento e/ou retorno

a) Aterramento parcial sem fio de retorno

Neste caso, diz-se que um dos neutros está flutuante e um desequilíbrio das tensões poderá provocar o surgimento de uma tensão ΔV_n entre o ponto comum não aterrado e a terra. Evidentemente as tensões das fases também podem sofrer uma sobretensão em relação ao potencial da terra. Essas sobretensões representam um estresse adicional ao dielétrico dos equipamentos que normalmente são montados em bases sobre o solo sem isolamento especial. Além disso, aumenta o risco de descargas de toque para as pessoas que manipulam esses equipamentos.

Uma eventual vantagem dessa conexão seria a economia do fio de retorno, aliada à possibilidade de usar a medida da tensão de neutro para acionar a proteção contra desequilíbrio. Mas isso só seria razoável quando não houvesse cargas monofásicas e o desligamento sob desequilíbrio fosse mandatório, como no caso de falta de fase em motor de indução, quando é imperativo desligar também as outras fases.

b) Aterramento dos neutros sem fio de retorno

Uma forma de reduzir a tensão de neutro em caso de desequilíbrio consiste em aterrar todos os neutros das conexões em Y, sem usar o fio de retorno. No entanto, essa solução não evita que ocorram flutuações da tensão de neutro em caso de desequilíbrio com a presença da sequência zero, devido à resistividade variável do solo. Assim, a presença de cargas monofásicas ou a falta de fase, podem fazer surgir significativas tensões de neutro, provocando sobretensões nas demais fases e colocando em risco as outras cargas do sistema, além de criar o perigoso gradiente (potencial de passo) em torno do ponto de aterramento.

Esse tipo de problema pode ser também provocado pela presença de harmônicas múltiplas de 3, uma vez que, como visto, apresentam características de sequência zero. Portanto a sua presença na rede sem condutor de retorno provoca a flutuação da tensão de neutro.

c) Aterramento do neutro com condutor de retorno

Quando a carga a ser alimentada é do tipo mista (mono e trifásica) é mais razoável usar o condutor de retorno, além do aterramento do neutro. Com isso fica garantido o potencial mínimo entre a terra e qualquer ponto neutro do sistema e as correntes de desequilíbrio poderão circular pelo fio de retorno. Assim também aumenta a segurança contra descarga por toque nos equipamentos e se pode usar a **corrente** de retorno como sinal de proteção contra o desequilíbrio ou a presença de harmônicas de sequência zero. Pelo fato da impedância de retorno ser fixa e conhecida, a detecção de anormalidades torna-se mais confiável.

8.2 Aterramento segundo a NBR 5410 e a IEC 60364

A norma brasileira NBR5410 ^[1] define o padrão nacional de instalações elétricas de baixa tensão e, dentre inúmeros aspectos, os métodos de aterramento. As figuras a seguir ilustram os esquemas de aterramento. Utilizam como exemplo sistemas trifásicos, mas são válidos para alimentações mono ou bifásicas. As massas indicadas não simbolizam um único, mas sim qualquer número de equipamentos elétricos.

Se pertencentes a uma mesma edificação, as massas devem, necessariamente, compartilhar o mesmo eletrodo de aterramento. Se situadas em diferentes edificações podem, em princípio, estar ligadas a eletrodos de aterramento distintos, com cada grupo de massas associado ao eletrodo de aterramento da respectiva edificação.

Na classificação dos esquemas de aterramento é utilizada a seguinte identificação:

— primeira letra – Situação da alimentação em relação à terra:

- T = um ponto diretamente aterrado;

- I = isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de impedância;

— segunda letra – Situação das massas da instalação elétrica em relação à terra:

- T = massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação;
- N = massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro);

— outras letras (eventuais) – Disposição do condutor neutro e do condutor de proteção:

- S = funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;
- C = funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

Esquema TN

O esquema TN possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto através de condutores de proteção. São consideradas três variantes de esquema TN, de acordo com a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção, a saber:

- esquema TN-S, no qual o condutor neutro e o condutor de proteção são distintos (figura 8.2.a);
- esquema TN-C-S, em parte do qual as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor (figura 8.2.b);
- esquema TN-C, no qual as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor, na totalidade do esquema (figura 8.3).

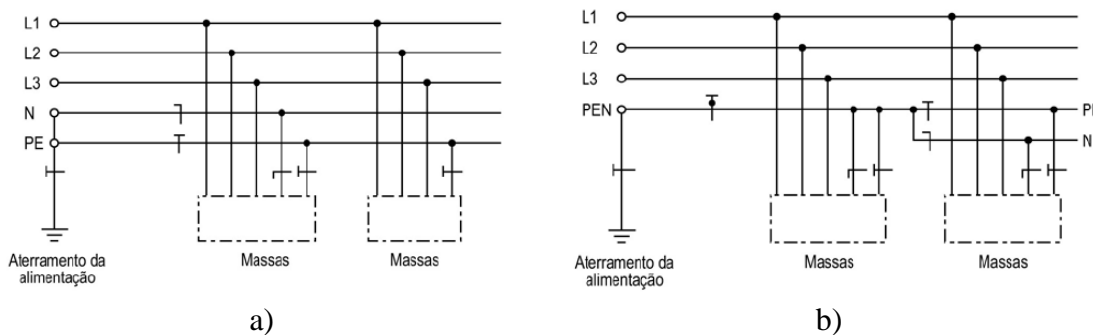


Figura 8.2 Esquema TN-S (a) e Esquema TN-C-S (b)

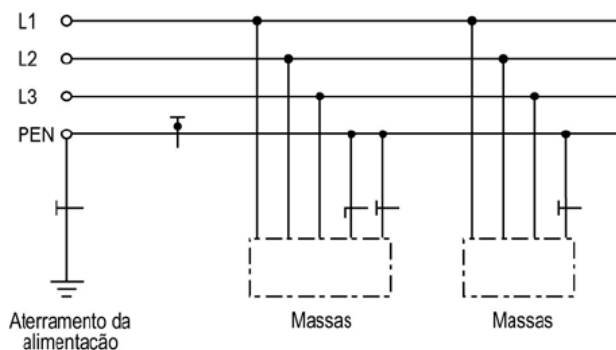


Figura 8.3 Esquema TN-C

Esquema TT

O esquema TT possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, estando as massas da instalação ligadas a eletrodo(s) de aterramento eletricamente distinto(s) do eletrodo de aterramento da alimentação (figura 8.4).

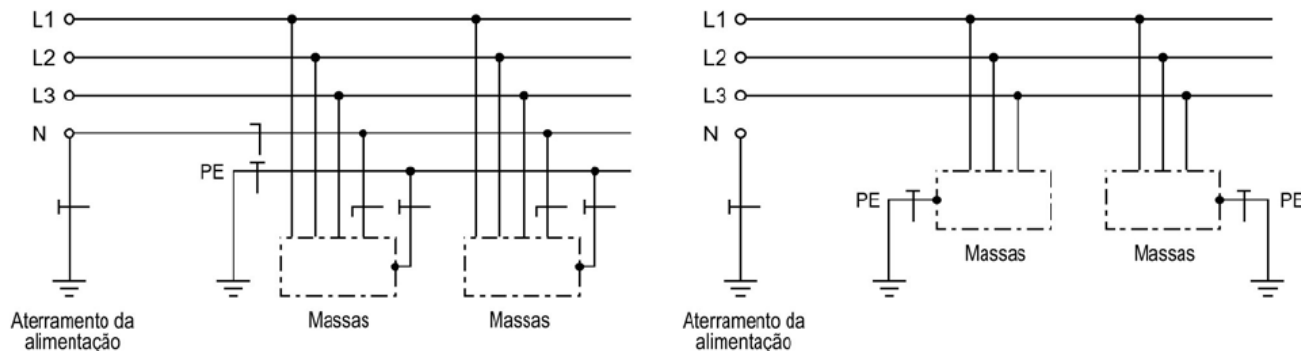


Figura 8.4 Esquema TT

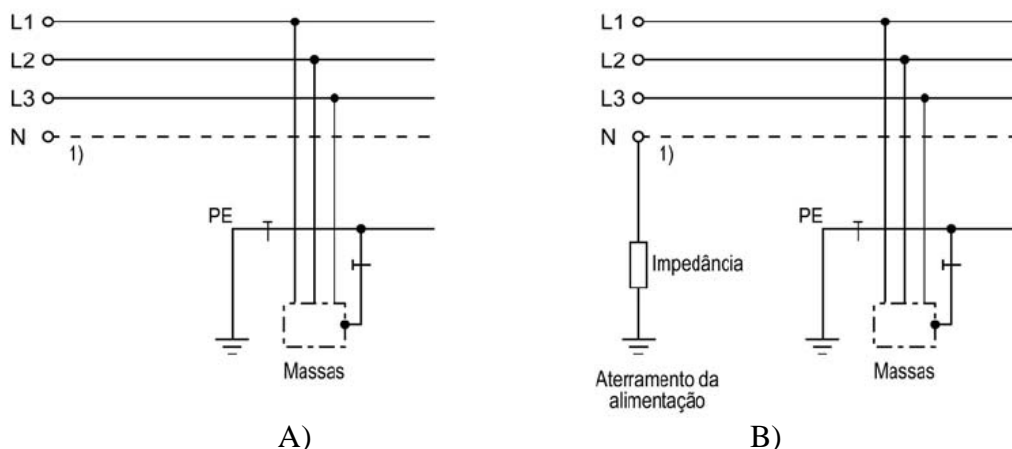
Esquema IT

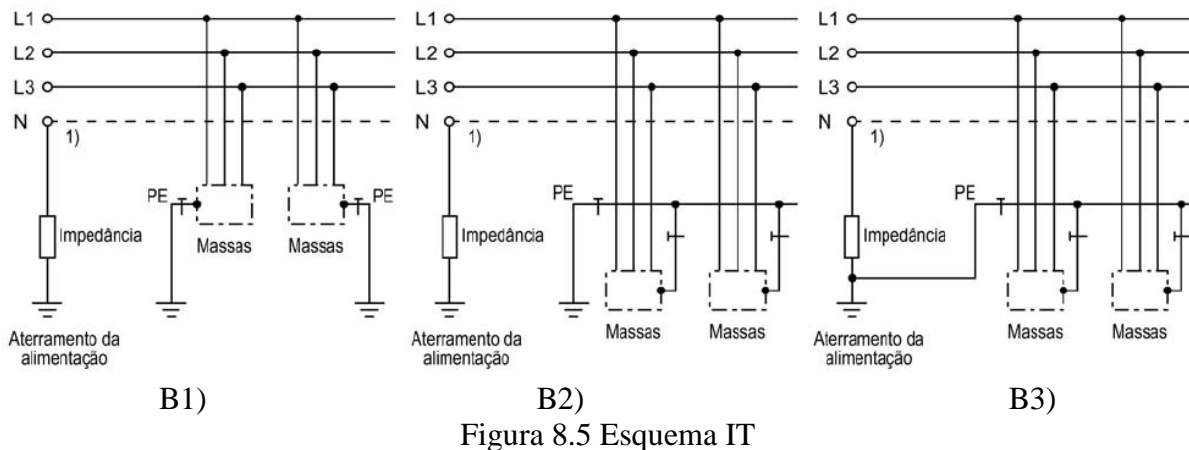
No esquema IT todas as partes vivas são isoladas da terra ou um ponto da alimentação é aterrado através de impedância (figura 8.5). As massas da instalação são aterradas, verificando-se as seguintes possibilidades:

- massas aterradas no mesmo eletrodo de aterramento da alimentação, se existente; e
- massas aterradas em eletrodo(s) de aterramento próprio(s), seja porque não há eletrodo de aterramento da alimentação, seja porque o eletrodo de aterramento das massas é independente do eletrodo de aterramento da alimentação.

O neutro pode ser ou não distribuído. Na figura 8.5 tem-se as seguintes situações:

- A = sem aterramento da alimentação;
- B = alimentação aterrada através de impedância;
- B.1 = massas aterradas em eletrodos separados e independentes do eletrodo de aterramento da alimentação;
- B.2 = massas coletivamente aterradas em eletrodo independente do eletrodo de aterramento da alimentação;
- B.3 = massas coletivamente aterradas no mesmo eletrodo da alimentação.





Conexão delta aterrada

No caso de se usar a conexão triângulo ou Δ é prática, especialmente em São Paulo, aterrar o centro de um dos ramos da tensão secundária, como mostrado na Figura 8.6.

Além de referenciar as tensões ao potencial da terra, essa conexão permite alimentar também cargas monofásicas (110 V) e bifásicas (220 V) até um determinado nível de carregamento, desde que não desequilibre o sistema acima do tolerável (por norma 2% de componentes de sequência zero e negativa). Uma vantagem desse sistema em Δ sobre o Y com retorno é que evita a circulação de correntes de sequência zero pelas linhas de distribuição

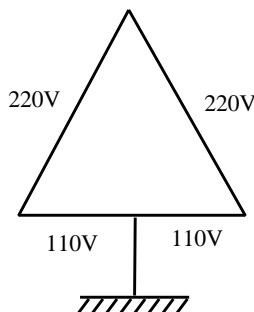


Figura 8.6. Conexão Triângulo aterrado

8.3. Aspectos de Segurança

Outro aspecto importante do aterramento diz respeito à segurança das pessoas que entram em contato com equipamentos energizados. Existem três situações que podem comprometer a segurança de uma pessoa submetida a campos elétricos.

1. Potencial de passo

O potencial de passo é definido como a diferença de potencial entre dois pontos na superfície do solo, distantes um metro entre si. Como mostrado na figura 8.7, esse potencial afeta uma pessoa quando ela anda sobre essa superfície.

2. Potencial de toque

O potencial de toque é definido como a diferença de potencial entre as partes metálicas aterradas e um ponto no solo afastado um metro desse objeto aterrado. Esse é o potencial a que uma pessoa pode estar submetida ao tocar em objetos metálicos de equipamentos elétricos isolados (cabines, tanques, carcaças, etc.).

3. Potencial transferido

O potencial transferido é um caso particular do potencial de toque quando a parte metálica não tem aterramento ou tem aterramento separado. Essa é uma situação de alto risco, pois pode assumir valores comparáveis aos níveis de tensão da instalação. É o caso de cabos de comunicação, condutos metálicos, linhas de trem, etc.

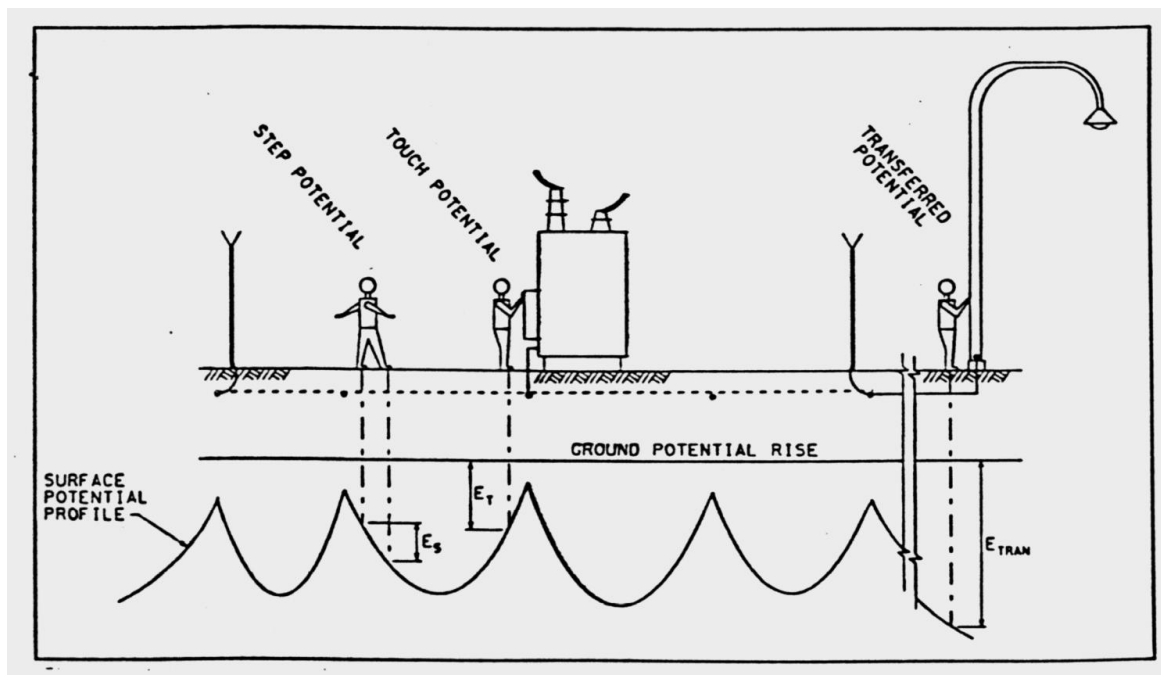


Figura 8.7. Potenciais de risco.

8.4 Aterramento e Compatibilidade Eletromagnética

Principalmente em equipamentos eletrônicos de potência (mas não exclusivamente nestes), estão presentes elevadas taxas de variação de tensão (dv/dt) associadas à comutação de transistores e diodos. Isso permite criar caminhos de circulação de corrente através de acoplamentos capacitivos parasitas entre partes metálicas internas aos equipamentos e superfícies condutoras externas, normalmente aterradas.

A minimização da propagação deste ruído passa por alterações de modos construtivos, com a finalidade de diminuir o acoplamento capacitivo, mas também faz uso de soluções corretivas, como filtros de modo comum. O papel do filtro é impedir que ruídos presentes na rede de alimentação interfiram no equipamento, assim como minimizar a propagação de ruído do equipamento para a rede. A conexão do terra na parte capacitiva do filtro é importante para criar um caminho efetivo para que as componentes geradas internamente no equipamento não se propaguem para a rede.

Normas específicas de Interferência Eletromagnética ^[2] (IEM) conduzida limitam estes valores, com medição na faixa entre 150 kHz e 30 MHz.

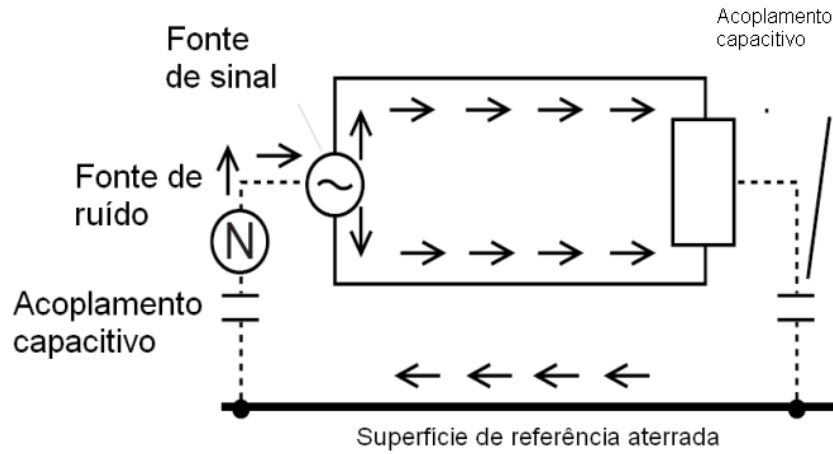


Figura 8.8 Ocorrência de ruído de modo comum

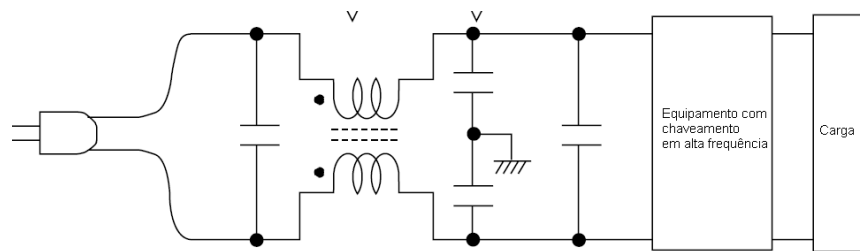
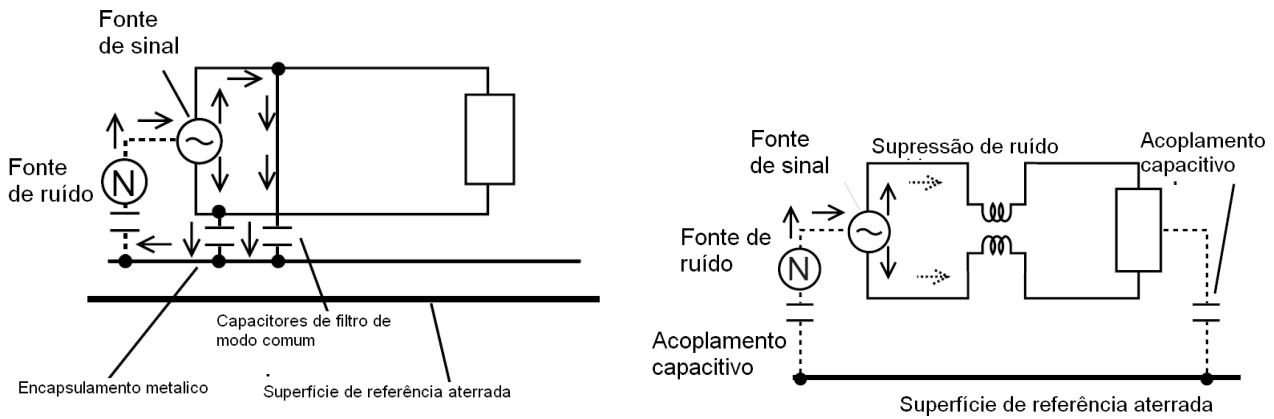


Figura 8.9 Aterramento de filtro de modo comum.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] ABNT NORMA BRASILEIRA NBR 5410 *Instalações elétricas de baixa tensão*, Segunda edição, 30.09.2004
- [2] EN 55011:2009 *Industrial, scientific and medical equipment– Radio-frequency disturbance characteristics Limits and methods of measurement*