

REDES – LINHAS

Guia técnico de medição de sistemas de terras em PT e PS

Procedimentos operativos

Elaboração: DGF, DIT, DSAN, DSAS, DST

Homologação: conforme despacho do CA de 2024-06-25

Edição: 1.

Acesso: X Livre

Restrito

Confidencial

ÍNDICE

ÍNDICE	2
0. INTRODUÇÃO	3
1. OBJETO E CAMPO DE APLICAÇÃO	3
2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	3
3. TERMOS E DEFINIÇÕES	4
4. PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA	7
5. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS	8
5.1. Materiais	8
5.2. Equipamentos.....	8
6. FLUXOGRAMA/SEQUÊNCIA DOS TRABALHOS A EFETUAR	9
7. MÉTODOS DE MEDIÇÃO DOS VALORES DA RESISTÊNCIA DE TERRA	10
7.1. Descrição dos Métodos	10
7.1.1. Método das Quedas de Tensão (Fall of potencial)	10
7.1.2. Método Seletivo.....	12
7.1.3. Método Clamp-On	13
7.2. Implementação dos métodos no terreno.....	16
8. MEDIÇÃO DAS TENSÕES DE CONTACTO E DE PASSO	25
8.1. Valores máximos toleráveis – EN 50522	25
8.2. Aplicação do método para medição das tensões de contacto e de passo	28
8.3. Boas Práticas	31
9. CONSTRANGIMENTOS ÀS MEDIÇÕES E MEDIDAS MITIGADORAS	33
ANEXO A – FICHA DE CARATERIZAÇÃO DAS TERRAS DO PT/PS	34
ANEXO B – MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE DO SOLO	35
B1. Descrição do método de medida da resistividade do solo por medição local	35
B2. Implementação do método no terreno	37
ANEXO C – MEDIDAS MITIGADORAS (GLOBAIS E GENÉRICAS)	40

0. INTRODUÇÃO

O presente documento resume os procedimentos operativos a levar a efeito na medição (e registo) dos valores da resistência de terra (terra de proteção e terra de serviço) e das tensões de contacto e de passo, nos Postos de Transformação (PT) e de Seccionamento (PS) da E-REDES.

De modo a garantir a segurança de pessoas e a fiabilidade de instalações, considera-se essencial a realização de ligações à terra em conformidade, bem como garantir que não são ultrapassados os valores máximos definidos.

A realização de ligações à terra e a medição dos valores da resistência de terra (e das tensões de contacto e de passo), devem obedecer a regras normalizadas em todas as vertentes e em todas as geografias.

1. OBJETO E CAMPO DE APLICAÇÃO

Este documento foi elaborado tendo como objetivo principal a uniformização das regras e procedimentos a observar na execução de medições, tendo em vista a determinação dos valores de resistência de terra (e tensão de contacto e de passo) nos Postos de Transformação e de Seccionamento da E-REDES.

Os destinatários são equipas internas, prestadores de serviços e outras entidades, que intervêm na construção e manutenção de Redes de Distribuição para a E-REDES.

Com este documento, todos os executantes (internos e externos) deverão ser capazes de identificar qual o método a adotar para a medição de valores de resistência de terra nos PT e PS da E-REDES, em função das condições de exploração da rede e da condição técnica da instalação e aplicar os procedimentos aqui preconizados.

Os procedimentos aqui apresentados deverão ser seguidos aquando da medição de terras, antes da entrada em serviço das instalações e nas medições de terras realizadas ao longo da vida útil da instalação.

2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

O presente documento inclui disposições de outros documentos, referenciados nos locais apropriados do seu texto, os quais se encontram a seguir listados.

EN 50522	2022	Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.
Dec. Reg. nº 1/92 e respetivas alterações	1992	Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (RSLEAT)
Dec. Reg. n.º 90/84 e respetivas alterações	1984	Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão (RSRDEEBT)
Decreto 42895 e respetivas alterações	1960	Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e de Seccionamento (RSSPTS)
Portaria n.º 596/2010	2010	Regulamento da Rede de Distribuição (RRD)
Dec. Lei 273/2003	2003	Condições de segurança e de saúde no trabalho em estaleiros temporários ou móveis
DRE-C10-001		Guia de Coordenação de Isolamento
DRE-C11-040		Guia Técnico de Terras
DPS 38.008-7 EDP		Regulamento de consignações da Rede de Distribuição AT, MT e BT
DPS 38.008-1 EDP		Manual de Segurança - Prevenção do Risco Eléctrico
FPS E-REDES		Ficha de Procedimentos de Segurança (FPS) - Trabalhos de Manutenção dos Ativos de Redes de MT, BT e IP e primeira intervenção em avaria na rede AT

3. TERMOS E DEFINIÇÕES

3.1. Circuito de Corrente

O circuito formado pelos elementos percorridos pela corrente produzida pela fonte de alimentação: Fonte de alimentação, elétrodo de corrente, cabo de ligação ao elétrodo de corrente, solo existente entre o elétrodo de corrente e o elétrodo a medir, elétrodo a medir e o cabo de ligação do elétrodo a medir à fonte de alimentação.

3.2. Circuito de Potencial

O circuito formado pelos elementos percorridos pela corrente de medição, do voltímetro: Voltímetro, cabo de ligação ao elétrodo de potencial, elétrodo de potencial, solo existente entre o elétrodo de potencial e o elétrodo a medir, elétrodo a medir e cabo de ligação voltímetro.

3.3. Condutor de Terra

Condutor destinado a ligar parte de uma instalação ou um equipamento com o elétrodo de terra.
[RSSPTS, art. 22º]

Condutor formando um caminho condutor entre um terminal principal de terra ou o barramento e um elétrodo de terra.

[VEI 195-02-03]

3.4. Elétrodo de Corrente - *EC*

O elétrodo utilizado para a circulação de uma corrente entre ele e o elétrodo a medir.

3.5. Elétrodo de Potencial (Tensão) - *EP*

O elétrodo utilizado como referência zero para a medição do potencial do elétrodo a medir.

3.6. Elétrodo de Terra

Condutor ou conjunto de condutores enterrados destinados a estabelecer bom contacto com a terra.
[RSSPTS, art. 23º]

Parte condutora que está em contacto elétrico com uma terra local, diretamente ou por um meio condutor intermédio.

[VEI 195-02-01].

3.7. Ligação à Terra

Ligação permanente com a terra, realizada por condutores de terra e elétrodos de terra.
[RSSPTS, art. 21º]

3.8. Resistência de Terra - *RT*

Resistência elétrica entre o elétrodo de terra e a terra.
[RSSPTS, art. 25º]

3.9. Sistema de Terras

Conjunto de dispositivos e ligações elétricas necessários para ligar à terra os equipamentos ou um sistema, em separado ou em conjunto.

[IEC 61936-1:2021]

3.10. Tensão de Contacto (Toque) - U_T

Tensão (valor da diferença de potencial) entre partes condutoras quando tocadas simultaneamente por um ser humano ou animal.

[EN 50522 e VEI 195-05-11]

Nota 1: O valor da tensão de contacto é influenciado pela impedância do ser humano ou do animal em contacto elétrico com as partes condutoras.

Nota 2: O ser humano está a tocar as partes condutoras com a pele nua.

Nota 3: Tensão de Contacto é a diferença de potencial entre uma estrutura metálica ligada à terra e um ponto na superfície do solo, a uma distância igual à distância horizontal máxima normal a que esta se pode tocar, aproximadamente 1 metro. [DRP-C13-530]

3.11. Tensão de Contacto Admissível - U_{TP}

Valor limite da tensão de contacto U_T .

[EN 50522 e VEI 314-04-05]

3.12. Tensão de Contacto Prevista - U_{VT}

Tensão (valor da diferença de potencial) entre partes condutoras quando as mesmas não estão em contacto.

[EN 50522 e VEI 195-05-09]

3.13. Tensão de Contacto Admissível Prevista - U_{VTP}

Valor limite da tensão de contacto prevista U_{VT} .

[EN 50522]

3.14. Tensão de Passo - U_P

Tensão (valor da diferença de potencial) entre dois pontos da superfície na Terra.

[VEI 195-05-12]

Nota: Normalmente, uma distância de 1 m entre dois pontos é considerada o comprimento de uma passada de um ser humano (distância entre os pés).

3.15. Terminal principal de terra

Terminal ou barramento que é parte integrante de uma instalação e que assegura a conexão elétrica de um determinado número de condutores usados para estabelecer a ligação à terra ou equipotencialidade entre partes condutoras.

[VEI 195-02-33].

3.16. Terra de Proteção – TP

Circuito de terra a que são ligados todos os elementos condutores da instalação normalmente sem tensão, ou com tensões não perigosas, mas sujeitos a uma passagem fortuita de corrente que provoque diferenças de potencial perigosas e não previstas entre esses elementos, incluindo o solo.

[RSSPTS, art. 28º]

3.17. Terra de Serviço – TS

Circuito de terra a que são ligados unicamente pontos dos circuitos elétricos para influenciar as suas condições de exploração, quer limitando o potencial dos condutores em relação ao solo, quer permitindo o funcionamento das proteções.

[RSSPTS, art. 29º]

3.18. Terra Única (terra geral) - TU

Circuito de terra que resulta da ligação da terra de proteção com as terras de serviço.
[RSSPTS, art. 30º]

3.19. Terra Separada

Qualquer terra distinta da terra de proteção e das terras de serviço ou da terra geral.
[RSSPTS, art. 31º]

3.20. Terra de Neutro - TN

Circuito que interliga, em pontos estratégicos da rede de distribuição de Baixa Tensão, o condutor de neutro à terra.

4. PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA

Todas as atividades referenciadas neste documento devem ser efetuadas tendo em conta todos os procedimentos de segurança em vigor na empresa e na legislação aplicável, tendo em especial consideração o explicitado no Manual de Segurança - Prevenção do Risco Elétrico, bem como na Ficha de Procedimentos de Segurança (FPS) - Trabalhos de Manutenção dos Ativos de Redes de MT, BT e IP e primeira intervenção em avaria na rede AT.

Para além das necessárias medidas de Segurança a aplicar neste tipo de atividade, preconiza-se que a equipa de trabalho deverá ser constituída no mínimo por dois operacionais qualificados, com habilitação mínima B2V e B1V, e curso de primeiros socorros – emergências – traumas para equipas operacionais da Distribuição (pelo menos um elemento por equipa).

Pelo menos um elemento da equipa deverá ter no mínimo 3 anos de experiência na realização desta atividade. Na eventualidade de intervenção em PT Subterrâneos serão necessários 3 elementos. Se operarem a mais de 2 m de altura, devem ter formação “trabalhos em altura e resgate “.

Deverão ser elaboradas novas Fichas de Procedimentos de Segurança (FPS), no caso de prestador externo e verificada a sua adequabilidade pelo dono de obra, de acordo com o estabelecido no DL nº 273/2003, de 29 de Outubro.

Para além da habilitação para a realização deste tipo de medições, será necessário a utilização do seguinte equipamento de proteção:

- Vestuário de proteção completo (sempre de manga comprida) e ignífugo (contra o arco elétrico);
- Luvas isolantes;
- Luvas de proteção mecânica;
- Capacete de proteção com viseira;
- Calçado com proteção mecânica;
- Estrado ou tapete isolante.

Na medição de grandezas elétricas:

- Utilizar equipamentos de proteção individual adequado;
- Utilizar aparelhos adaptados ao tipo de medição a efetuar e às tensões que podem ser encontradas (por exemplo: pontas de prova isoladas);
- Selecionar rigorosamente o calibre a utilizar, no caso de aparelhos de calibres múltiplos;
- Verificar antes de cada operação o bom estado dos aparelhos de medição e dos equipamentos de proteção;
- Tomar precauções, em particular, contra os riscos de curto-circuito;
- Delimitar as zonas de trabalhos.

5. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS

De forma a poderem ser implementados os métodos de medida preconizados no presente documento, os executantes deverão estar munidos, pelo menos, dos seguintes materiais e equipamentos.

5.1. Materiais

Deverão estar munidos de:

- Kit de bobinas, constituído, pelo menos, por quatro bobinas de cabo com 100 m de comprimento cada e quatro a oito estacas metálicas auxiliares, com cerca de 1 m de comprimento cada;
- Fita ou roda métrica;
- Acessórios de ligação.

5.2. Equipamentos

Deverão estar munidos de:

- Medidor de terras com possibilidade de implementar os testes preconizados neste documento;
- Medidor de tensões de contacto e de passo, com possibilidade de implementar os testes preconizados neste documento.

Para as medições consideradas neste documento, nomeadamente medições de resistências de terra e tensões de contacto e de passo, os equipamentos devem apresentar, entre outras, as seguintes características:

- Serem compatíveis/certificados com o preconizado na EN 50522 (para medição da tensão de contacto e de passo);
- Possibilidade de introdução do tempo máximo de duração do defeito: até 5 s, para efeitos de conformidade do ensaio (conforme/não conforme);
- Possibilidade de introdução do valor máximo da corrente à terra (num defeito fase-terra): até 25 kA (com possibilidade de introdução de 300 A e 1 000 A), para efeitos de conformidade do ensaio (conforme/não conforme);
- Funções para medição da resistência de terra: quedas de tensão com 3 e 4 polos, medição clamp-on;
- Gama de medição: 0,020 Ω a 300 k Ω ;
- Precisão: \pm (2 % de leitura + 2 dígitos);
- Potência de entrada mínima: 1 200 VA;
- Potência de saída mínima: 1 000 VA;
- Corrente de Saída: 0 – 50/100 A (AC);
- Frequência de medição: 30 – 400 Hz, com seleção manual ou automática (sendo que, aquando da injeção de corrente para efeitos de medição da tensão de contacto ou de passo, não devem ser utilizados os 50 Hz);
- Multímetro para medição da tensão de contacto e de passo, com resistência de 1 k Ω ;
- Eléctrodos metálicos de corrente e de potencial, constituídos por placa de 20 x 20 cm e/ou dois pesos de 25 kg cada e estacas metálicas para constituição dos eléctrodos auxiliares de corrente e potencial (cujas dimensões garantam o seu enterramento em, pelo menos, 150 mm no solo).

6. FLUXOGRAMA/SEQUÊNCIA DOS TRABALHOS A EFETUAR

Para efetuar os trabalhos preconizados neste documento, deve ser seguido o fluxograma/árvore de decisão seguinte (figura 1), sem prejuízo da consulta a outros documentos e/ou legislação/regulamentação em vigor.

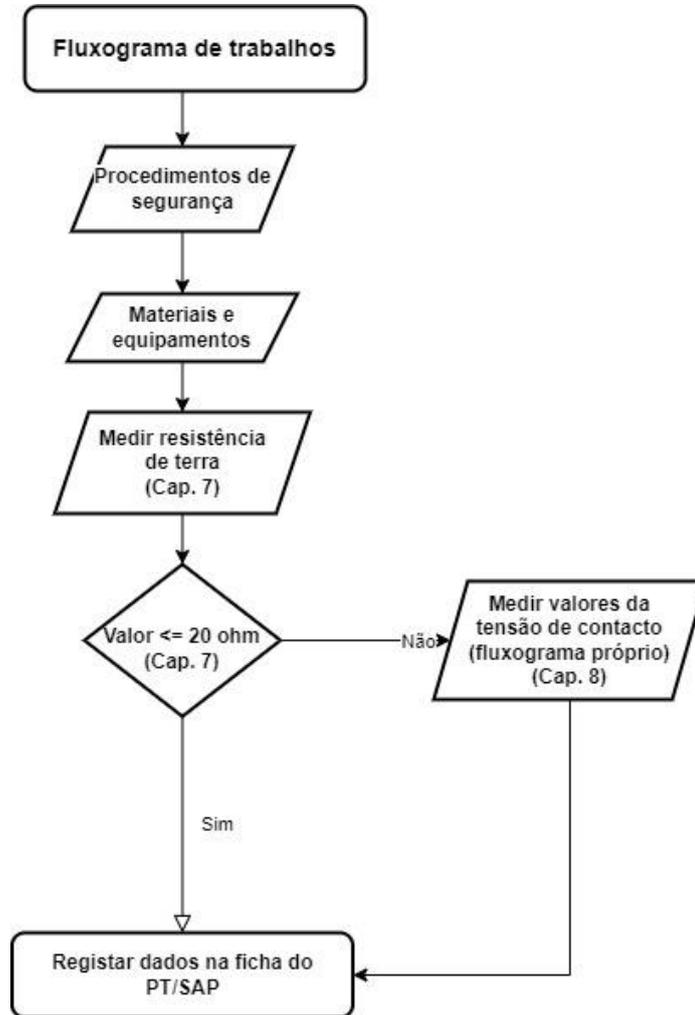


Figura 1: Fluxograma genérico de trabalhos

7. MÉTODOS DE MEDIÇÃO DOS VALORES DA RESISTÊNCIA DE TERRA

Para efetuar a medição de uma resistência de terra é necessário criar um circuito elétrico, fechado pela terra, onde seja possível aplicar uma corrente entre dois pontos suficientemente afastados e observar as variações de tensão que ocorrem dentro desse circuito.

De acordo com a lei de Ohm, a corrente aplicada circulará pela terra e provocará o aparecimento de tensões no solo. A relação entre a tensão resultante e a corrente aplicada permite obter o valor da resistência de terra.

Existem vários métodos para a determinação do valor da resistência de terra, que se baseiam no mesmo princípio de funcionamento. No entanto, a opção por um deles deve ter em conta a condição técnica e as condições envolventes da instalação (nomeadamente o seu sistema de terras, tendo em conta as características do solo).

Alguns dos métodos de medição da resistividade do solo são apresentados no Anexo B.

Na E-REDES, para a medição de valores de resistência de terra, são considerados os métodos a seguir indicados:

- Método das quedas de tensão (Fall of Potential);
- Método seletivo;
- Método “Clamp-On”.

7.1. Descrição dos Métodos

7.1.1. Método das Quedas de Tensão (Fall of potencial)

O princípio de funcionamento do método das quedas de tensão baseia-se na aplicação e monitorização de uma corrente elétrica que circulará entre o eletrodo de terra a medir, **E**, e o eletrodo auxiliar de corrente, **C**, e a monitorização da diferença de potencial entre o eletrodo de terra, **E**, e o eletrodo auxiliar de tensão, **P**. O esquema de princípio encontra-se ilustrado na figura 2.

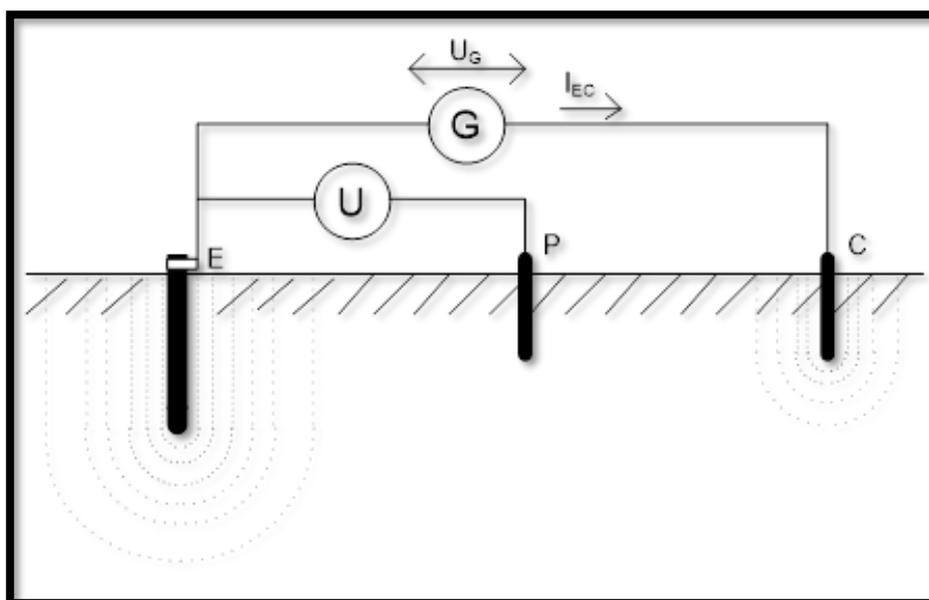


Figura 2: Esquema ilustrativo do método das quedas de tensão

O valor da resistência de terra, R_E , é obtido pelo quociente do valor da diferença de potencial medida numa zona do solo onde a variação de potencial com a distância seja nula pelo valor da corrente aplicada,

$$R_E = \frac{U_{EP}}{I_{EC}}$$

Para a aferição dos valores medidos, determina-se a realização de várias medições de forma a verificar a consistência dos resultados e a afastar a influência do potencial do eléctrodo de terra sobre os eléctrodos auxiliares.

Cada vez que é movimentado o eléctrodo de terra auxiliar de tensão, **P**, deverá ser registado o valor da resistência de terra medida pelo equipamento de forma a traçar uma curva de resultados conforme ilustrado na figura 3.

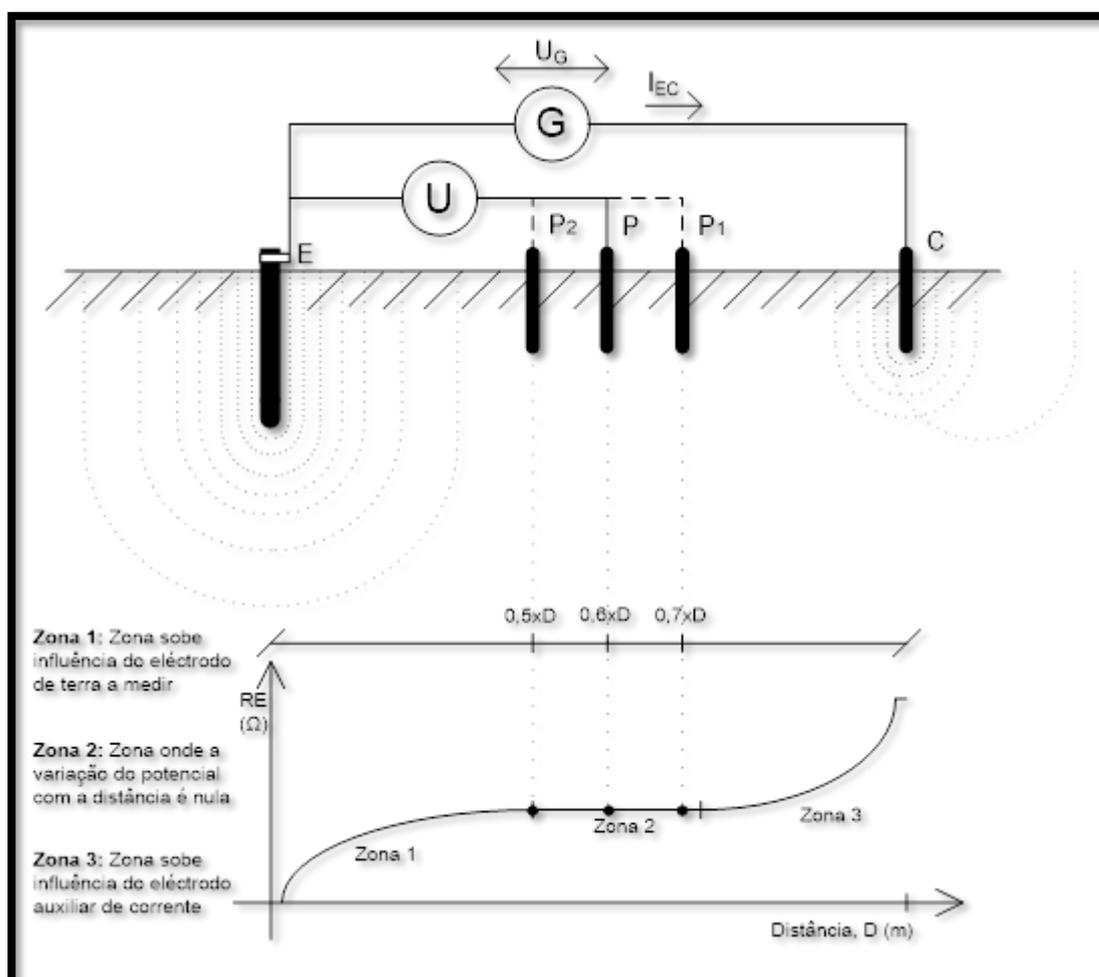


Figura 3: Método das quedas de tensão e respectiva curva de resultados

Se os resultados obtidos permitirem a visualização de um gráfico idêntico ao apresentado na figura 2, então, o valor da resistência na zona linear e constante corresponde ao valor da resistência de terra (zona 2 do gráfico).

Caso a curva de resultados adquira um formato semelhante às curvas **C1** ou **C2** ilustradas na figura 4, então é necessário afastar o eléctrodo de terra auxiliar de corrente, **C**, e efetuar novas medições.

Esta situação ocorre devido à interseção entre as zonas de influência do eléctrodo de terra a medir, **E**, e o eléctrodo auxiliar de corrente, **C**, não existindo assim uma zona no solo onde a variação do potencial com a distância seja nula, de forma a ser introduzido o eléctrodo de terra auxiliar de tensão, **P**.

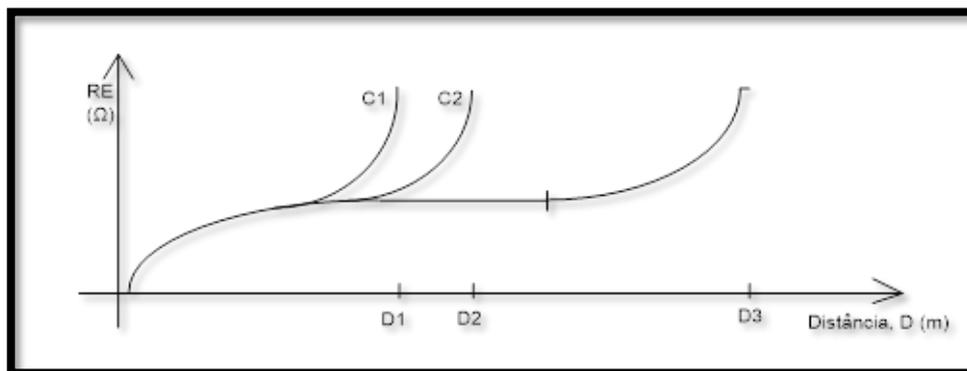


Figura 4: Método das quedas de tensão e respetivas curvas de resultados para diferentes distâncias

Em suma, o método da queda de potencial é um método que permite obter resultados fidedignos, fácil de aplicar, e que permite também, avaliar a qualidade dos resultados obtidos através da curva de medidas.

Constrangimentos:

- É obrigatório desligar o elétrodo de terra a medir, da restante rede de terras;
- Falta de condições na zona envolvente à instalação para a colocação dos elétrodos de terra auxiliares ou colocá-los numa zona suficientemente afastada, para que não haja interceção entre as áreas de influência.

7.1.2. Método Seletivo

Este método pode ser considerado uma variante do método das quedas de tensão. A diferença está na forma como se obtém o valor da corrente que circula no elétrodo de terra a medir, ou seja, neste método é utilizada uma pinça auxiliar de corrente que permite medir, de forma isolada, a corrente que circula no elétrodo de terra que se pretende medir.

Uma possível aplicação deste método está ilustrada na figura 5. Pretende-se efetuar a medição do valor da resistência da terra de serviço, R_{TS} , de um **PT AI** em funcionamento e com a rede elétrica de neutro da baixa tensão interligada.

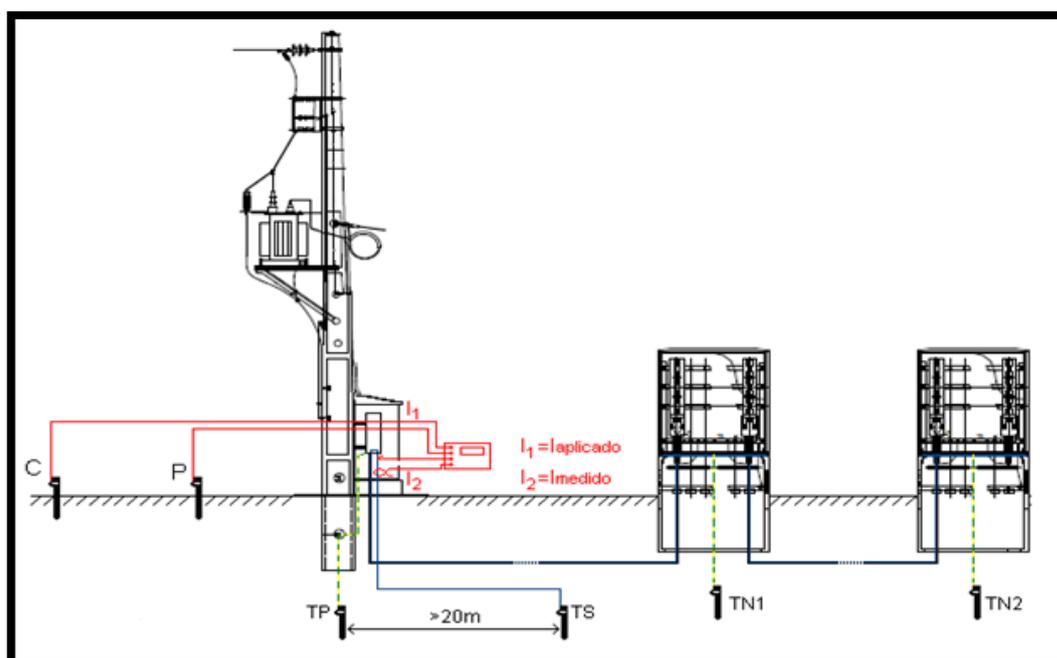


Figura 5: Princípio de funcionamento do método seletivo

Onde:

- C: Eléctrodo auxiliar de corrente;
- P: Eléctrodo auxiliar de tensão;
- TP: Terra de Protecção;
- TS: Terra de Serviço;
- I_1 : Corrente aplicada no circuito;
- I_2 : Corrente medida;
- TN1/TN2: Terminal de Neutro do armário de distribuição;

Se fosse aplicado o método das quedas de tensão, o valor da resistência de terra calculado pelo equipamento é dado pela relação:

$$R_{TS} = \frac{V_{medido}}{I_{aplicado}}$$

Através da Figura 5 podemos verificar que a corrente aplicada, $I_{aplicado}$, pelo equipamento é maior que a corrente que circula pelo eléctrodo de terra que queremos medir, logo o valor que seria medido seria inferior ao valor real (com esta medição obteríamos o valor da resistência global de neutro, TGN).

Com a utilização da pinça auxiliar, o equipamento obtém o valor da corrente que circula pelos eléctrodos da terra de serviço, I_{medido} , desprezando assim o valor da corrente que circula pelo condutor de neutro.

Deste modo, o valor da resistência da terra de serviço é obtido pela razão:

$$R_{TS} = \frac{V_{medido}}{I_{medido}}$$

Note-se que todas as regras descritas para o método das quedas de potencial devem ser utilizadas neste método. Assim deve ser traçada uma curva de resultados idêntica à da figura 3 de modo a determinar o valor da resistência de terra.

O método seletivo é um método que permite obter resultados fiáveis, fácil de aplicar, permite avaliar, através da curva de medidas, a qualidade dos resultados obtidos e ainda elimina o constrangimento identificado no método das quedas de tensão relativamente à necessidade da desligação do eléctrodo de terra a medir da restante rede de terras da baixa tensão.

Constrangimentos:

- Falta de condições na zona envolvente à instalação para a colocação dos eléctrodos de terra auxiliares, ou colocá-los numa zona suficientemente afastada, para que não haja intercepção entre as áreas de influência.
- Existência de ligações à terra em paralelo, muito próximos do eléctrodo de terra a medir.

7.1.3. Método Clamp-On

Este método é caracterizado por uma medição aproximada do valor da resistência de terra sem a necessidade de aplicar eléctrodos de terra auxiliares e com a possibilidade de efetuar a medição com a instalação em, ou fora de serviço.

Só é possível utilizar este método quando existirem uma ou mais ligações à terra em paralelo com a resistência de terra a medir, de forma a garantir um caminho de retorno pela terra para a corrente resultante.

Este método não pode ser utilizado na medição da resistência da terra de proteção dos PT aéreos, assim, torna-se inviável a sua aplicação nos PT aéreos de forma generalizada.

Relativamente aos PT de Cabine poderemos proceder à utilização deste método pois temos acessíveis os condutores de terra proveniente dos elétrodos da terra de proteção e da terra de serviço. Antes de proceder à medição dos valores aproximados da resistência de terra, deveremos proceder à interligação provisória das duas terras de forma a garantir um caminho de retorno pela terra para a corrente resultante.

As figuras 6 e 6-A ilustram um **PT** dotado com terras separadas, Terra de Proteção e Terra de Serviço, que por sua vez está interligada na sua rede de **BT** com 2 armários de distribuição (AD).

Procedimento para a medição do valor aproximado da terra de serviço e de proteção:

O equipamento de medida aplica uma tensão no circuito de terras, monitoriza a corrente resultante e calcula o valor aproximado da resistência da terra a medir pela seguinte relação:

$$R_{T_medida} = R_T + \frac{R_{TN1} \times R_{TN2} \times R_{TN...X}}{R_{TN1} + R_{TN2} + R_{TN...X}}$$

Onde:

- R_{T_medida} : Resistência de terra medida pelo equipamento;
- R_T : Resistência de terra medida pelo equipamento;
- $R_{TN1}; R_{TN2}; R_{TN...X}$: Resistência de terra que existem em paralelo com a resistência que queremos medir.

Caso o valor do paralelo de R_{TN1} com R_{TN2} e $R_{TN...X}$ for muito baixo então temos uma boa aproximação entre o valor medido e o valor real.

$$R_{T_medida} \approx R_T$$

De notar que os valores medidos são mais próximos do valor real, quanto maior for a malha de terra existentes em paralelo com o elétrodo a medir, fazendo tender assim para **0 (zero) Ohm** o valor do paralelo.

Exemplo Prático:

Medição TS em PT Cabina com 2 armários em paralelo:

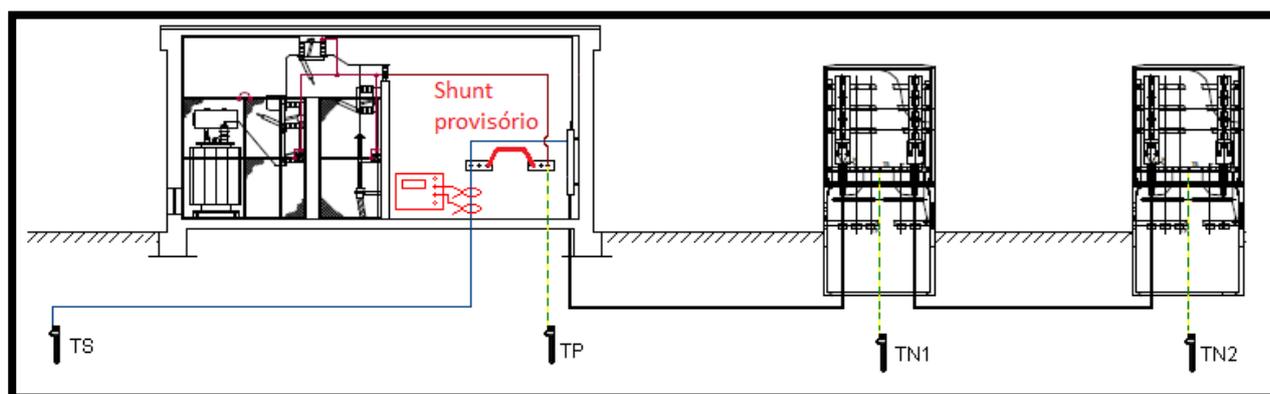


Figura 6: Princípio de funcionamento do método “Clamp-On” – Medição de Terras de Serviço

O Valor da resistência de terra medido será resultado da seguinte expressão:

$$R_{TS_medido} = R_{TS} + \frac{R_{TN1} \times R_{TN2} \times R_{TP}}{R_{TN1} + R_{TN2} + R_{TP}}$$

Nota: a interligação provisória da terra de serviço com a terra de proteção garante um caminho de retorno da corrente pela terra (pressuposto necessário para aplicar este método de medida) e um valor de terra medido mais próximo do valor real (valor do paralelo mais próximo de zero).

Medição TP em PT Cabina com 2 armários em paralelo:

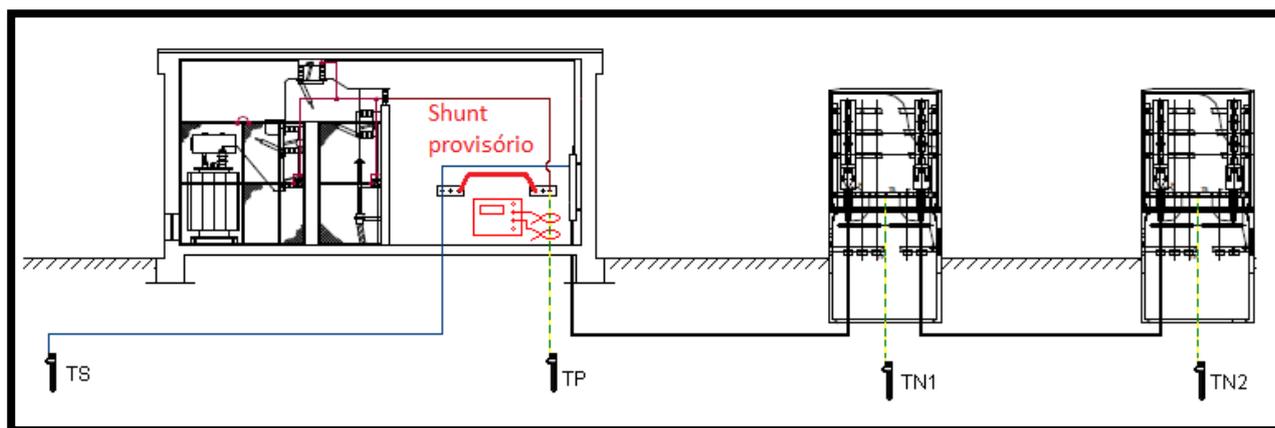


Figura 6-A: Princípio de funcionamento do método “Clamp-On” – Medição de Terras de Proteção

O Valor da resistência de terra medido será resultado da seguinte expressão:

$$R_{TP_medido} = R_{TP} + \frac{R_{TN1} \times R_{TN2} \times R_{TS}}{R_{TN1} + R_{TN2} + R_{TS}}$$

A interligação provisória da terra de serviço com a terra de proteção garante um caminho de retorno da corrente pela terra (pressuposto necessário para aplicar este método de medida) e um valor de terra medido mais próximo do valor real (valor do paralelo mais próximo de zero).

Caso os valores medidos estejam abaixo dos regulamentares, os mesmos podem ser validados, já que a aproximação efetuada pelo método é sempre por excesso.

Caso os valores medidos estejam acima dos valores regulamentares, este método é inconclusivo, sendo necessário proceder à medição de terra por outros métodos (Métodos das quedas de potencial)

Constrangimentos:

- Os valores obtidos são sempre uma aproximação ao valor real;
- Não permite efetuar medições em elétrodos onde não se verificam caminhos de retorno pela terra;
- Não permite efetuar medições onde não esteja acessível o condutor de terra proveniente dos elétrodos (por exemplo a terra de proteção em PT aéreas).

7.2. Implementação dos métodos no terreno

De forma a implementar no terreno os métodos de medida acima descritos, têm de ser executados sequencialmente os seguintes passos:

1º - Avaliação da envolvente e da condição técnica da instalação

Antes de se dar início à implementação física dos trabalhos deverão ser seguidos, previamente, os seguintes pontos:

- Analisar a envolvente (Tipo da instalação, condição de exploração, condição técnica, análise de riscos);
- Verificar as condições necessárias para a realização dos trabalhos (autorizações, meios humanos, materiais, ferramentas e equipamentos);
- Assegurar que não estão a ocorrer trabalhos na rede BT ligada ao PT, em que se irão realizar as medidas;
- Analisar eventuais ligações à terra de serviço/proteção das bainhas dos cabos, bem como eventuais shunts entre a terra de proteção e a terra de serviço;
- Identificar os locais mais adequados para instalação dos elétrodos de terra auxiliares;
- Identificar os pontos de ligação do equipamento (garras, pinças, cabos e equipamento de medida);
- Identificar o esquema de terras existente no PT e as grandezas a medir tendo em conta o seguinte quadro:

Quadro 1
Tipos de instalações e respetivas grandezas a medir

Tipo de instalação	Esquema de terras do PT	Resistência de terra a medir	Valor Regulamentar (Ω)
PTAI/PTR250, PTCB, PTCA, PTA/AS/PTR100	Terras Separadas	Terra de Proteção	20
		Terra de Serviço	20
		Valor Global de Terra <i>(valor de terra de serviço no PT, considerando-a interligada com todas as ligações à terra da rede BT)</i>	10
	Terra Única	Terra Única	1

2º - Identificação do método de medida adequado para executar as medições

Em função do tipo de instalação e o seu estado de exploração o executante deverá identificar o método de medida que mais se ajusta às suas necessidades, tendo presente o seguinte fluxograma (figura 7):

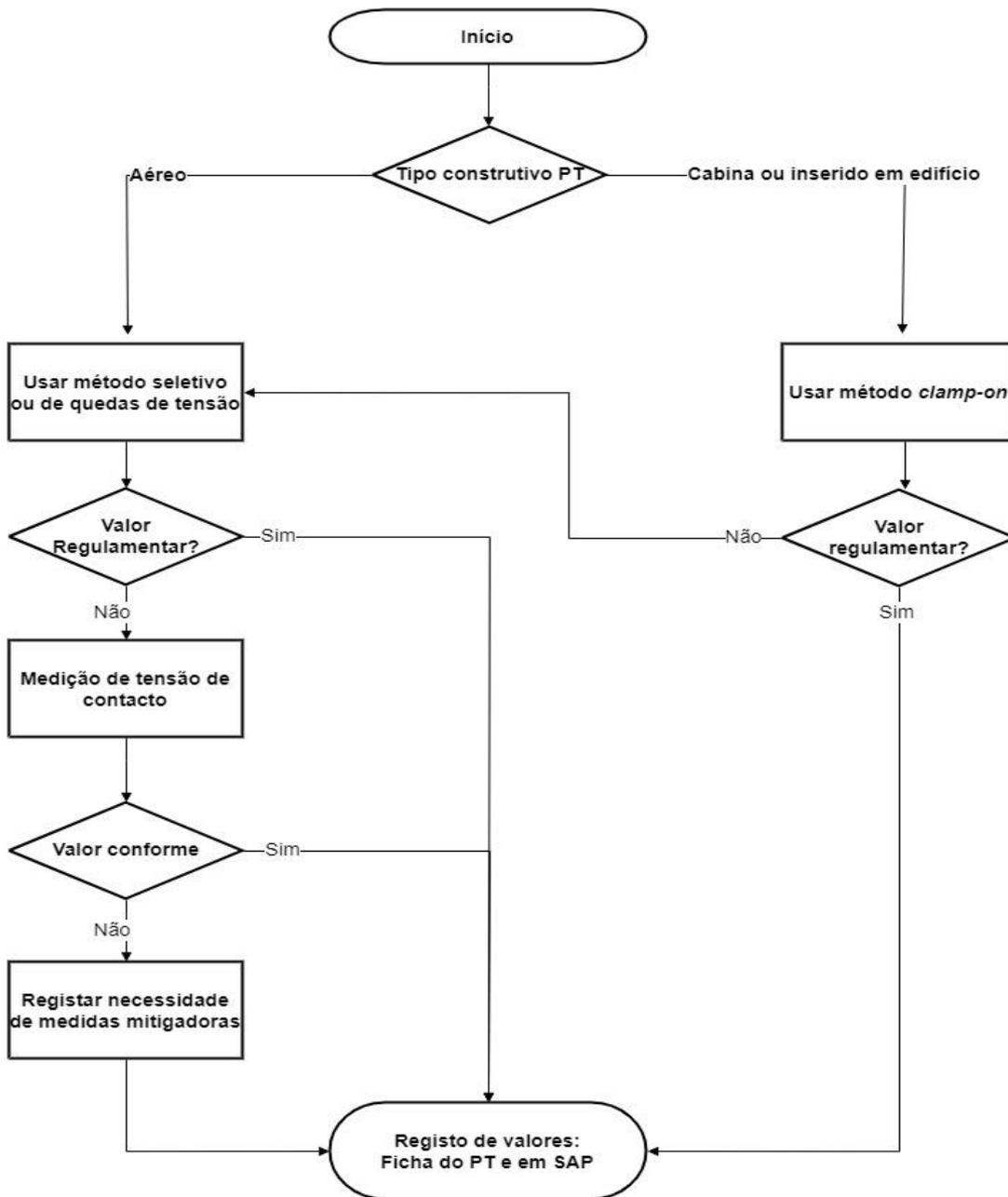


Figura 7 – Fluxograma de decisão da metodologia de medição a adotar

Notas:

- Na medição da terra de serviço em PT aéreos, recomenda-se que a mesma incida sobre a terra global de neutro;
- A medição da Tensão de Contacto apenas é aplicável para situações de valores não regulamentares na medição do valor de terra de proteção;
- Se houver lugar à implementação de medidas mitigadoras, esta será sucedida, de forma iterativa, de novas medições.

Complementado pelo constante no quadro seguinte.

Quadro 2
Grandezas a medir e respetivo método recomendado

Tipo de Instalação	Resistência de terra que podemos medir	Métodos medida resistência Terra	Condições que têm de estar reunidas
PTA/AS/PTR100 PTAI/PTR250 PTCA	Terra de Proteção, Terra de Serviço e Terra Única	Método das quedas de tensão	Condutor proveniente do elétrodo de terra a medir tem de estar desligado do circuito de terras (com exceção da terra de proteção uma vez que este circuito não tem interligações)
	Terra Global de Neutro		Condutor proveniente do elétrodo da terra de serviço a medir deve estar ligado no circuito do neutro
	Terra de Proteção, Terra de Serviço e Terra Única	Método Seletivo	Condutor proveniente do elétrodo de terra a medir pode estar ligado do respetivo circuito de terras
PTCB	Terra de Proteção, Terra de Serviço e Terra Única	Método das quedas de tensão	Condutor proveniente do elétrodo de terra a medir tem de estar desligado do circuito de terras.
	Terra de Proteção, Terra de Serviço e Terra Única	Método Seletivo	Condutor proveniente do elétrodo de terra a medir pode estar ligado do respetivo circuito de terras
	Terra de Proteção, Terra de Serviço e Terra Única	Método “Clamp ON”	Condutor proveniente do elétrodo de terra a medir não poderá estar desligado do circuito de terras e encontra-se acessível para colocação da pinça de medição e é necessário que existam ligações em paralelo com a terra que queremos medir.

3º - Implantação dos elérodos auxiliares e realização das ligações elétricas

Caso o método utilizado seja o método das quedas de tensão ou o método seletivo, têm de ser colocados elérodos de terra auxiliares obedecendo a algumas regras práticas, de forma a evitar possíveis interceções entre as áreas de influência dos elérodos.

Duas opções podem ser tomadas mediante as condicionantes do terreno.

Opção 1:

- Os elérodos de terra auxiliares **P** e **C** são colocados no solo com um ângulo superior a 90º entre eles e entre o elétrodo de terras a medir. A disposição referida permite evitar a interpolação dos campos magnéticos de ambos os elérodos auxiliares, minimizando possíveis erros de medição. A zona preferencial para colocar os elérodos auxiliares é a **zona A** (zona oposta à localização dos elérodos da terra) como está ilustrado na figura 8;
- Segundo a norma EN 50522:2022, os elérodos de terra auxiliares **P** e **C**, devem distar no mínimo 5 a 10 vezes o comprimento da malha de terra implementada no PT, mas não menos de 20 m. Desta forma, as condições de medição variam de caso para caso, possibilitando alguma manobra na disposição dos elérodos.

Os exemplos práticos apresentados nas figuras seguintes procuram demonstrar a colocação dos elérodos auxiliares, considerando-se o comprimento da malha de terra com 20 m e a distância de colocação dos elérodos auxiliares de 100 m.

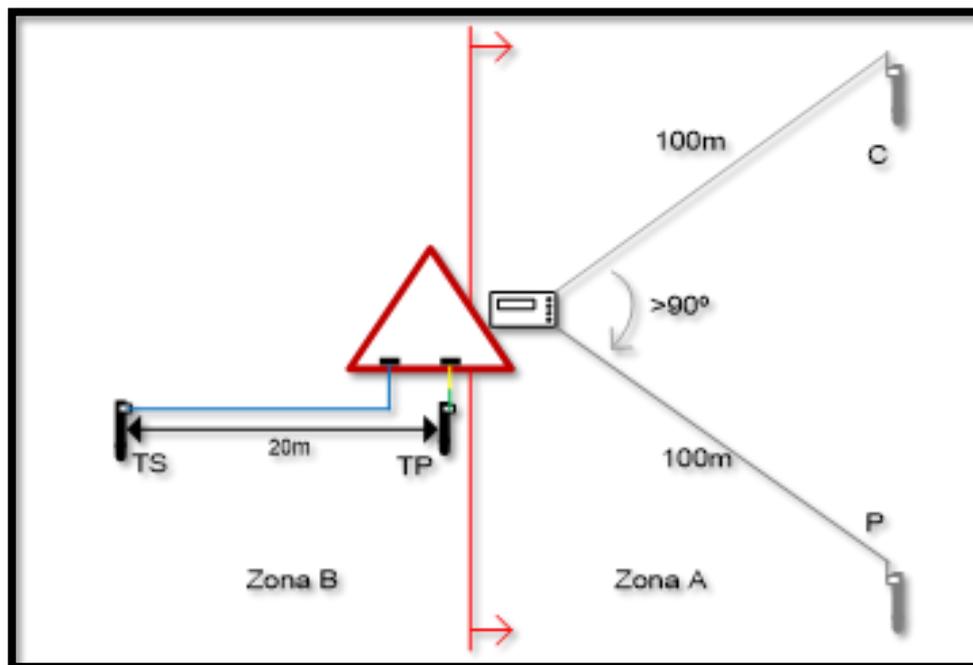


Figura 8: Esquema de princípio para a colocação dos elétrodos de terra auxiliares

Opção 2:

- Os elétrodos de terra auxiliares **P** e **C** são colocados no solo, na mesma direção e com um ângulo superior a 90° entre eles e o elétrodo de terra a medir. A zona preferencial para colocar os elétrodos auxiliares é a **zona A** (zona oposta à localização dos elétrodos da terra) como está ilustrado na figura 9;
- O comprimento mínimo entre o elétrodo de terra auxiliar de corrente, **C**, e o elétrodo de terra a medir, **E**, deverá ser de no mínimo $5a$ (cinco vezes o comprimento da malha de terra do PT). O elétrodo auxiliar de tensão, **P**, deverá ser colocado a 62 % do valor do comprimento aplicado ao elétrodo de terra de corrente, **C**, (62 m, caso a distância de **P** for os 100 m).

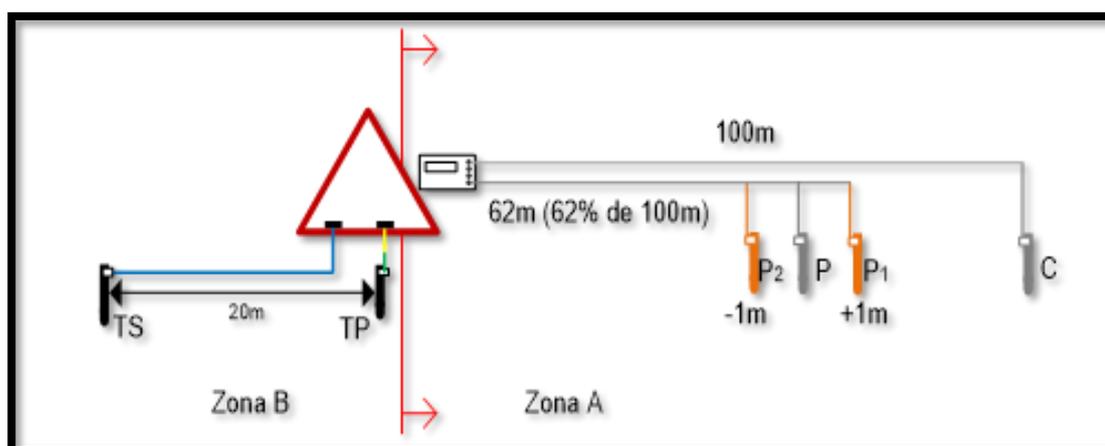
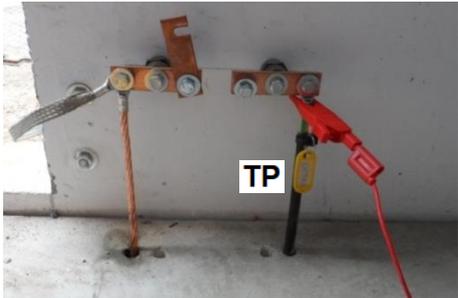
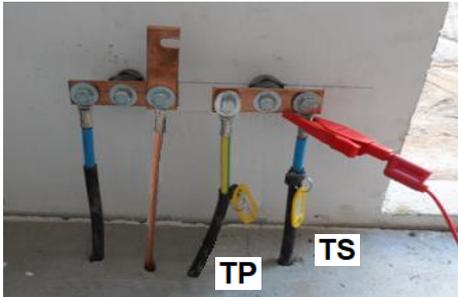


Figura 9: Esquema de princípio para a colocação dos elétrodos de terra auxiliares

Depois de colocados os elétrodos auxiliares, é necessário proceder à sua interligação com o equipamento de medida através das bobines de cabo existentes para o efeito.

Por fim, é necessário colocar a garra e/ou a pinça proveniente do equipamento de medida, para a aplicação da corrente de medida no circuito. De forma a minimizar possíveis erros deverão ser cumpridas as regras descritas no quadro seguinte:

Quadro 3
Cuidados a ter na medição da resistência de terra

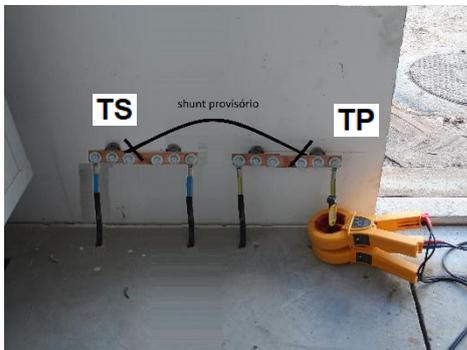
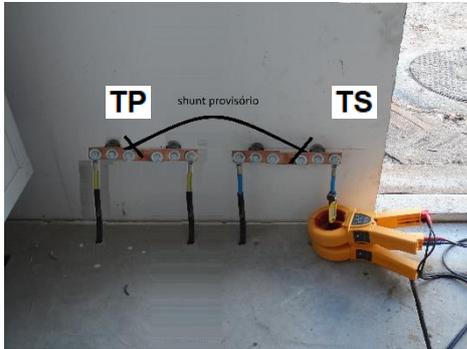
Método	Resistência de terra a medir	Local onde colocar a garra e/ou a pinça para a execução da medição	Ilustração fotográfica de princípio
Método das quedas de tensão	Terra de Proteção	- Garantir que o condutor proveniente do eletrodo a medir se encontra desligado da restante rede de terras e conectar aí a garra de injeção de corrente do equipamento de medida	
	Terra de Serviço		
	Terra Única	- Garantir que os condutores provenientes dos eletrodos de terra a medir se encontram "shuntados" e desligados das restantes redes de terras e conectar aí a garra de injeção de corrente do equipamento de medida	

Quadro 3 (Cont.)

Cuidados a ter na medição da resistência de terra

Método Seletivo	Terra de Proteção	<p>- Conectar a garra de injeção de corrente do equipamento de medida ao condutor proveniente do eletrodo a medir e aplicar a pinça de medida imediatamente abaixo de acordo com a orientação existente na mesma</p> <p>- No caso da Terra Única a pinça de medida deverá ser aplicada por forma a garantir que os condutores provenientes dos eletrodos de terra são "vistos" em paralelo pelo equipamento de medida.</p>	
	Terra de Serviço		
	Terra Única		

Quadro 3 (Cont.)
Cuidados a ter na medição da resistência de terra

Método "Clamp On"	Terra de Proteção		
	Terra de Serviço	<ul style="list-style-type: none"> - Garantir que existem ligações à terra em paralelo de forma a garantir um caminho de retorno para a corrente. - Aplicar a pinça ou as pinças de medida aos condutores provenientes dos elétrodos de terra a medir garantindo que os mesmos são vistos em paralelo pelo equipamento de medida. 	
	Terra Única		

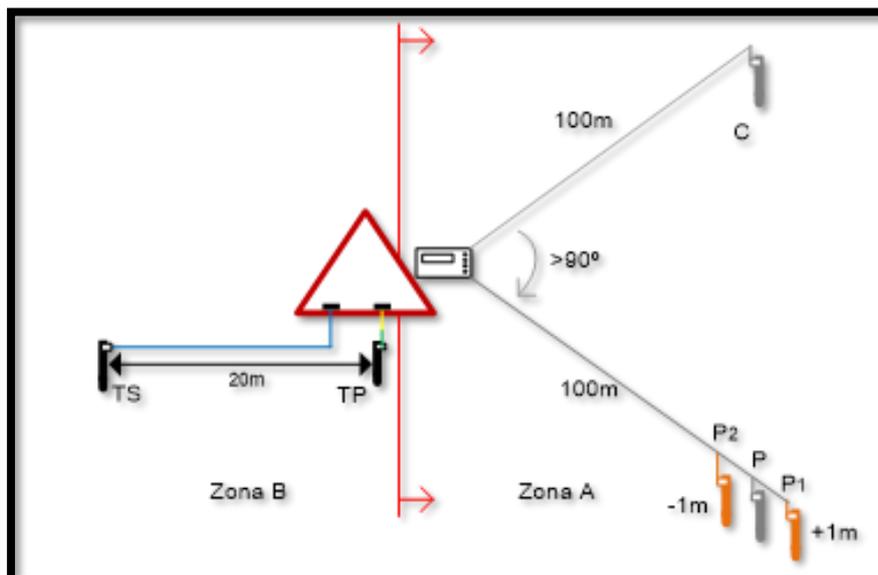
4º - Medição do valor da resistência de terra

Depois de efetuadas todas as ligações é necessário selecionar no equipamento de medida o método utilizado e assim efetuar a medição do valor da resistência de terra.

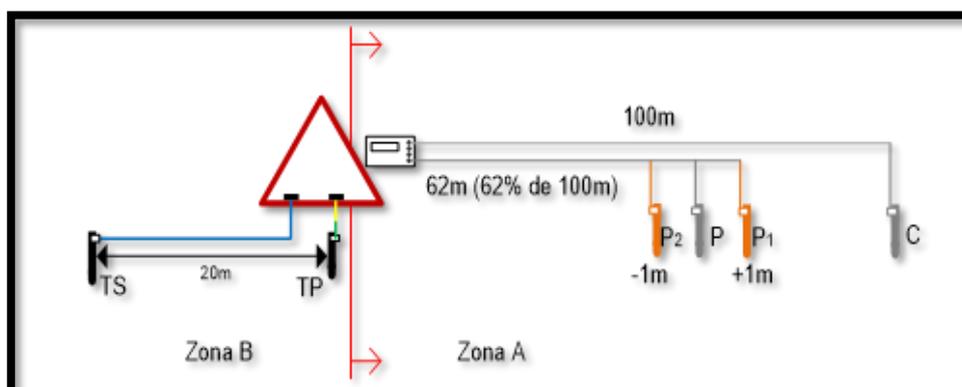
De forma a validar os resultados obtidos seria necessário efetuar várias medições e traçar a curva de resultados como descrito no ponto 7.1. de forma a validar a conformidade da medição.

Este processo é mais eficaz na obtenção do valor medido, pode ser, no entanto, simplificado efetuando apenas mais duas medições, movimentando o elétrodo de terra auxiliar de tensão, **P**, em **+/- 1 metro** em relação à primeira medição, de acordo com a opção escolhida na colocação dos elétrodos de terra auxiliares.

Apresentam-se de seguida as figuras ilustrativas para as duas situações;



Situação 1: Eléctodos de terra auxiliares colocados com um ângulo $\geq 90^\circ$ entre si



Situação 2: Eléctodos de terra auxiliares colocados na mesma direcção

Figura 10: Esquema de princípio para a colocação dos eléctrodos de terra auxiliares para a validação dos resultados

Se o valor das três medições não variar mais de 10 % entre si, e obedecer à curva descrita no ponto 7.1, então o valor da resistência de terra obtido está validado.

No caso em que a condição anterior não se verifique, então é necessário aumentar a distância dos eléctrodos auxiliares face ao eléctrodo de terra a medir e proceder a novas medidas até que a condição seja verificada.

Poderá ainda ocorrer o caso que o procedimento anterior não tenha aplicabilidade ou não valide a condição anterior. Nesta condição deverão ser reposicionados os eléctrodos auxiliares de forma a tentar evitar as intercepções registadas.

Por fim, quando for utilizado o método “Clamp ON”, em que se obtém um valor inferior ao regulamentar, o valor a registar é o medido. Para valores superiores ao valor regulamentar, então a medição efetuada não é conclusiva sendo necessário utilizar outro método de forma a efetuar a adequada medição do valor da resistência de terra.

Caso os valores medidos, aplicando qualquer um dos métodos ilustrados anteriormente, seja superior ao regulamentar, deveremos proceder à medição da tensão de contacto conforme descrito no capítulo 8 do presente documento.

5º - Registo do valor da resistência de terra

Depois de efetuadas as medições, é obrigatório proceder ao registo de todos os valores medidos no mapa de terras existente no interior do posto de transformação (conforme modelo do Anexo A) e nos sistemas corporativos. Eventuais não-conformidades detetadas deverão ainda ser comunicados, de imediato, ao gestor de obra.

8. MEDIÇÃO DAS TENSÕES DE CONTACTO E DE PASSO

8.1. Valores máximos toleráveis – EN 50522

A norma EN 50522 fornece um método de cálculo para a tensão de contacto admissível U_{TP} , para se poder considerar uma instalação (ponto de medição/contacto) segura, sendo que uma adaptação prática desse método está descrita na figura 11.

Quanto à tensão de passo admissível, ela não é calculada, uma vez que o seu valor limite é sempre superior ao valor da tensão de contacto U_T , em condições iguais. Assim, se a tensão de contacto admissível medida cumprir com os limites definidos, pode-se considerar que a instalação também será segura em relação à tensão de passo¹.

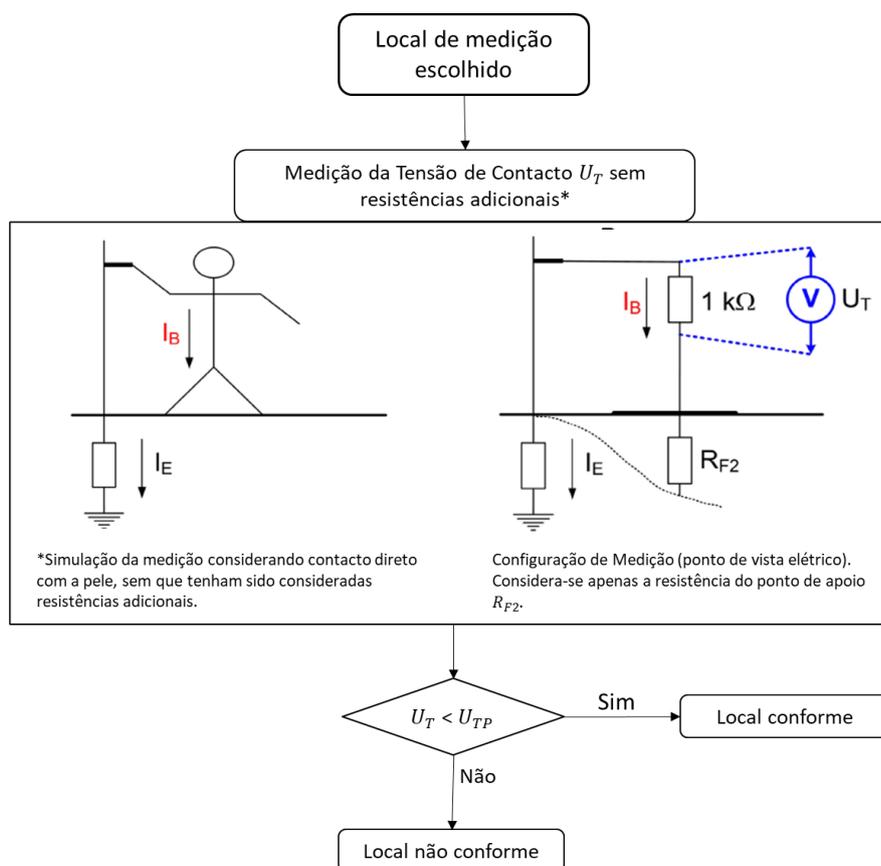


Figura 11 — Aplicação prática para medição da tensão de contacto, sem resistências adicionais. [Fonte: EN 50522, adaptado]

Onde:

- U_{TP} Tensão de contacto admissível
- U_T Tensão de contacto
- I_E Corrente que flui para a Terra
- I_B Corrente máxima admissível (suportada pelo corpo humano)
- R_{F2} Impedância do ponto de apoio

¹ De realçar que as condições de defeito assumidas, são as mesmas utilizadas para o cálculo segundo a norma IEEE Std. 80-2000

A equação que a norma nos fornece para calcular a tensão de contacto admissível, U_{TP} , é a seguinte:

$$U_{TP} = I_B(t_f) \cdot \frac{1}{HF} \cdot Z_T(U_T) \cdot BF$$

Onde:

- U_{TP} Tensão de contacto admissível (V)
- U_T Tensão de contacto (V)
- t_f Duração do defeito (que determina a corrente máxima admissível I_B) (s)
- I_B Corrente máxima admissível (suportada pelo corpo humano) (mA)
- Z_T Impedância do corpo humano (Ω)
- HF Fator da corrente do coração (a sensibilidade do coração humano para fibrilar)
- BF Fator relacionado com o corpo humano (valor definido em função do percurso da corrente no corpo humano)

No caso da EN 50522 (e para o cálculo dos valores do quadro 4 e figura 12) deverá ser tido em conta:

- O caminho da corrente no corpo humano é mão-pé;
- Uma probabilidade de 50 % de impedância do corpo humano;
- Uma probabilidade de 5 % de ocorrer fibrilação ventricular (para o cálculo de I_B);
- Não serão consideradas resistências adicionais.

A tabela seguinte apresenta a tensão de contacto admissível, calculada em função da corrente de defeito.

Quadro 4

Valor máximo da tensão de contacto admissível, calculada em função da duração do defeito

Duração de defeito t_f s	Valor máximo da Tensão de contacto admissível U_{TP} V
0,05	725
0,10	655
0,20	525
0,50	225
1,00	115
2,00	95
3,00	87,5
5,00	85
10,00	85

A figura seguinte apresenta, sob a forma de gráfico, a tensão de contacto admissível para um conjunto mais alargado de valores (a figura 12 baseia-se apenas no contacto mão-mão ou mão-pé, ou seja, contacto direto com a pele, sem que tenham sido consideradas resistências adicionais).

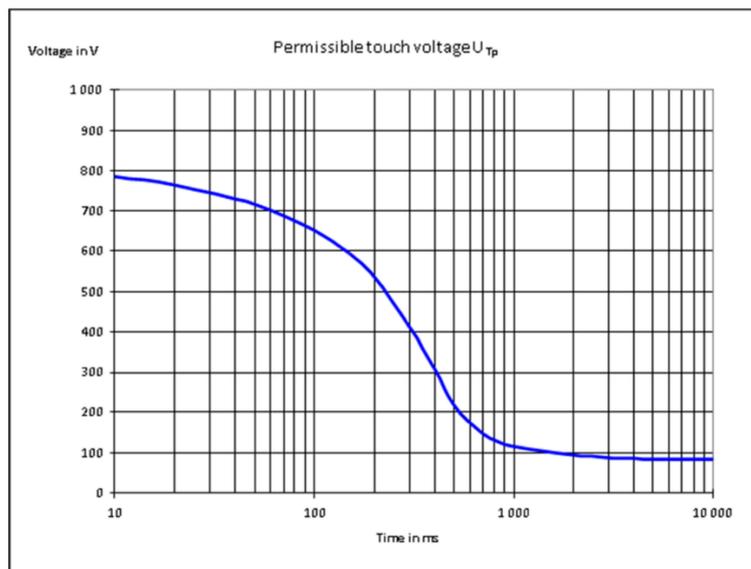


Figura 12: Tensão de contacto admissível [fonte: EN 50522]

O critério anterior deverá ser utilizado em todas as medições a realizar no exterior.

Para medições a realizar no interior das instalações, uma vez que é obrigatória a utilização de Equipamento de Proteção Individual (sapatos em bom estado com proteção mecânica²), deverá considerar-se no cálculo resistências adicionais (conforme exemplo da figura 13):

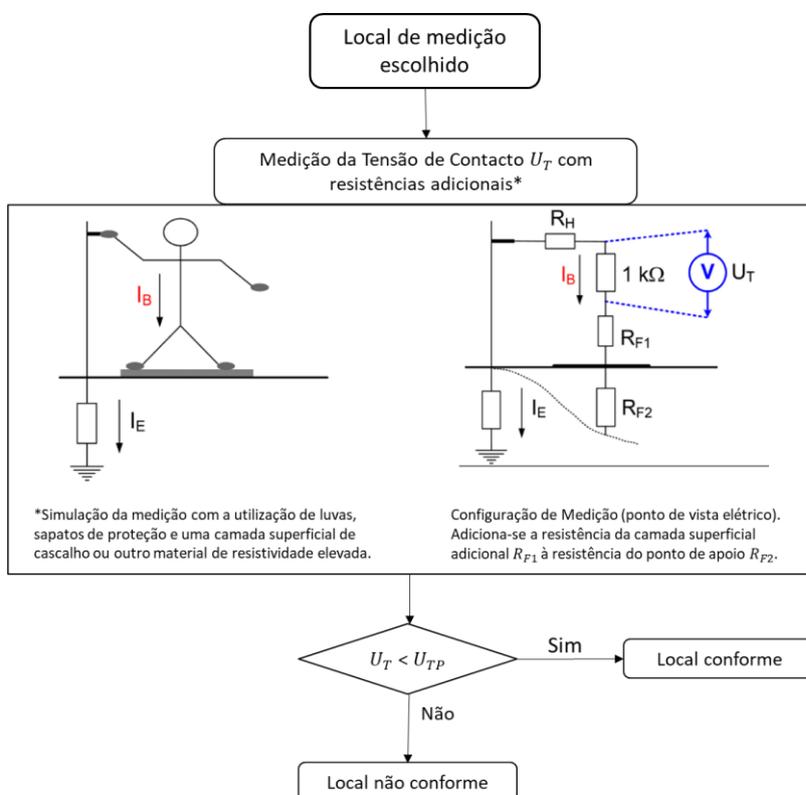


Figura 13 — Aplicação prática para medição da tensão de contacto, considerando resistências adicionais. [Fonte: EN 50522, adaptado]

² Os sapatos com proteção mecânica, ainda que não apresentem as características de isolamento do calçado concebido com proteção dielétrica, apresentam um valor de resistência não desprezável face ao caso mais desfavorável possível, em que se considera a pessoa descalça (exterior do PT).

Onde:

- U_{TP} Tensão de contacto admissível
- U_T Tensão de contacto
- I_E Corrente que flui para a Terra
- I_B Corrente máxima admissível (suportada pelo corpo humano)
- R_H Impedância do ponto de contacto (incluindo as luvas utilizadas)
- R_{F1} Impedância da camada superficial adicional
- R_{F2} Impedância do ponto de apoio

A equação que a norma nos fornece, considerando resistências adicionais (conforme exemplo da figura 13), para calcular a tensão de contacto máxima admissível, U_{vTP} , é a seguinte:

$$U_{vTP} = I_B(t_f) \cdot \frac{1}{HF} \cdot (Z_T(U_T) \cdot BF + R_H + R_F)$$

Onde:

- U_{vTP} Tensão de contacto máxima admissível
- U_T Tensão de contacto
- I_E Corrente que flui para a Terra
- I_B Corrente máxima admissível (suportada pelo corpo humano)
- R_H Impedância do ponto de contacto (incluindo as luvas utilizadas)
- R_{F1} Impedância da camada superficial adicional
- R_{F2} Impedância do ponto de apoio:

$$R_{F2} = 1,5 m^{-1} \rho_S$$

- ρ_S - Resistividade do solo à superfície, [Wm]

8.2. Aplicação do método para medição das tensões de contacto e de passo

O objetivo da medição da tensão nos PT e PS é verificar que a tensão de contacto U_T é inferior à tensão de contacto admissível U_{TP} .

No nosso caso, como vamos utilizar a EN 50522 como referencial, sendo que, atendendo aos valores definidos para a atuação das nossas proteções (3 s), **o valor máximo da tensão de contacto admissível U_{TP} é 87,5 V** (conforme Quadro 4).

O valor anterior deverá ser utilizado como referência para valor máximo da tensão de contacto admissível em todas as medições a realizar.

Contudo, para medições a realizar no interior das instalações, uma vez que é obrigatória a utilização de Equipamento de Proteção Individual, deverá considerar-se como referência **340 V³**.

³ Valor obtido pela aplicação da EN 50522, considerando a utilização de Equipamento de Proteção Individual em bom estado – sapatos.

As medições de tensão de contacto U_T ou a tensão de contacto prevista U_{VT} são sempre baseados no método de injeção de corrente⁴.

O método de injeção de corrente é o método mais utilizado para realizar medições das tensões de contacto U_T e de passo U_P em instalações elétricas.

Pode ser realizado de diferentes formas, consoante se aplica o preconizado na norma EN 50522 (resumo no quadro 5) ou na norma IEEE Std. 81-2012⁵.

Para estabelecimento do circuito de corrente, é colocado um elétrodo auxiliar a uma distância entre 5 a 10 vezes o comprimento da malha de terra.

O equipamento utilizado deverá injetar uma corrente necessária (da ordem de 1 para 100 da corrente para a qual foi dimensionada a instalação), a uma frequência diferente da frequência industrial da rede (50 Hz) para realizar a medição.

Sempre que o equipamento não permitir a aplicação de corrente, deverá ser revista a impedância do circuito, em particular a resistência dos elérodos auxiliares de corrente.

A corrente de ensaio irá depender das condições do solo.

Em função do tipo de equipamento utilizado, a frequência da corrente injetada poderá ser selecionada manualmente ou automaticamente, tendo em conta os requisitos da frequência (entre 40 a 70 Hz, excluindo os 50 Hz).

Quadro 5

Resumo das características definidas na norma EN 50522

Norma	Medida	Elétrodo de Terra	Impedância de entrada
EN 50522:2022	Tensão de contacto (toque)	Placa metálica de 20 cm x 20 cm com uma carga de pelo menos 50 kg e afastado de 1 m da estrutura/objeto de medição ou 2 pesos de 25 kg cada um. O solo que se encontra por baixo da placa deverá estar húmido	1 k Ω
	Tensão de passo	A norma assume que os limites para a tensão de passo são muito maiores do que a tensão de toque, pelo que esta medida não é considerada necessária	-----

As condições de medição para tensões de contacto são as seguintes:

- O(s) elétrodo(s) de medição para simulação dos pés deverão ter uma área total de 400 cm² e estar apoiados no solo com uma força total mínima de 500 N. Devem ser colocados a uma distância de 1 m da parte exposta da instalação e quando colocados sobre cimento/asfalto ou solo, o elétrodo deverá estar sobre um pano húmido ou uma película de água. Uma medição alternativa passa por utilizar um elétrodo colocado pelo menos a uma profundidade de 20 cm no solo.

⁴ “heavy current injection method”, conforme descrito no anexo L da EN 50522:2022

⁵ Norma “81-2012 - IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System”. A diferença entre as duas normas, consiste em utilizar um equipamento de medição, capaz de realizar a medição, tendo em conta uma resistência de 1 k Ω , ou um aparelho de medição que introduza uma impedância de vários k Ω ou até mesmo M Ω , entre os terminais de medição.

- O(s) elétrodo(s) de medição para simulação da mão é um elétrodo em ponta e deve ser capaz de perfurar com segurança um revestimento de tinta (não isolado).
- Um terminal do voltímetro é ligado ao elétrodo da mão, o outro terminal ao elétrodo dos pés.
- O corpo humano deve ser simulado por uma resistência de 1 k Ω .

As figuras seguintes apresentam um exemplo prático do método de injeção de corrente (Figura 14) e a montagem da medição da tensão de contacto de acordo com a EN 50522 (Figura 15). Nesta última, o elétrodo de terra é uma placa metálica de 20 cm x 20 cm e está afastada do objeto de ensaio cerca de 1 m.

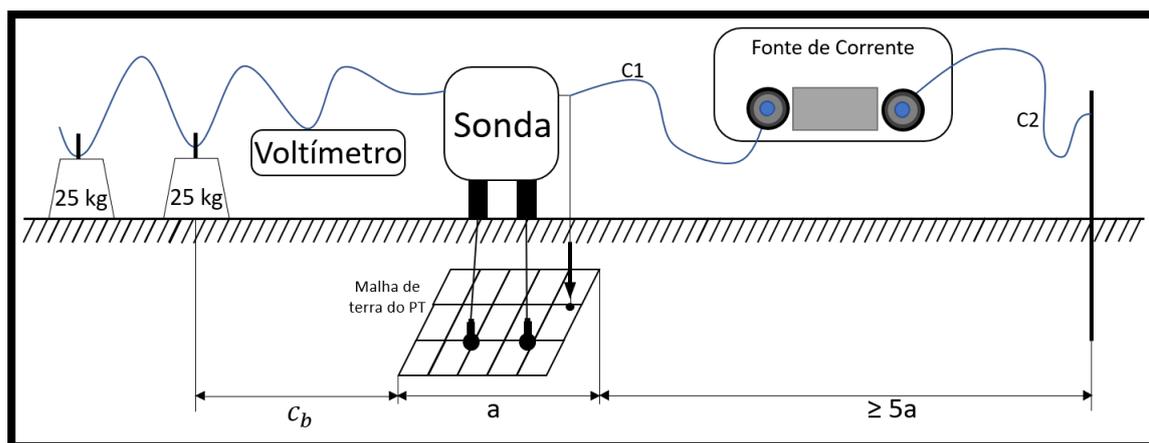


Figura 14 — Aplicação prática do método de injeção de corrente (EN 50522)

Em que:

- C1: Canal 1 do equipamento (canal do potencial)
- C2: Canal 2 do equipamento (injeção de corrente)
- C_b: Comprimento médio do braço humano (assume-se 1 m, segundo a EN 50522)
- a: Comprimento da malha de terra
- 25 kg: Massas metálicas, para simulação do peso médio do corpo humano (suportado por cada perna).

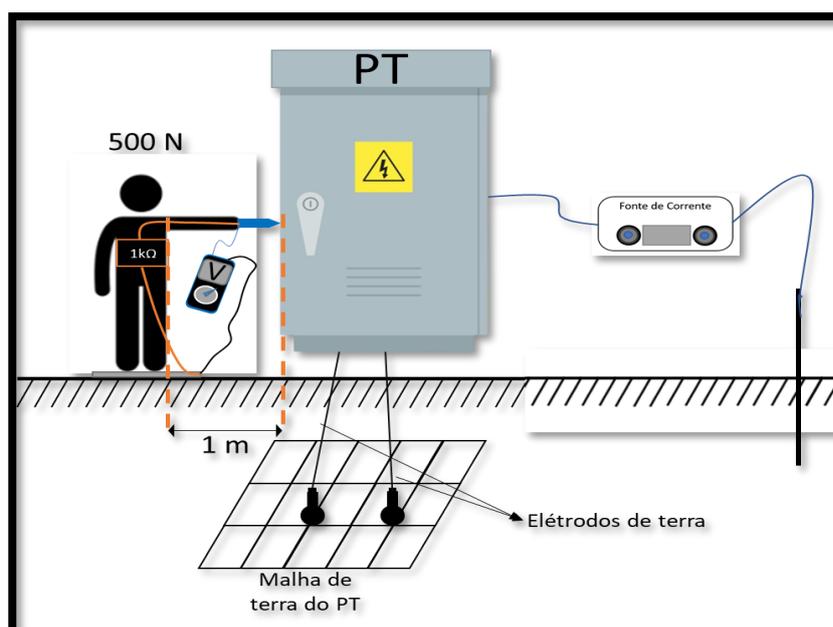


Figura 15: Medição da tensão de contacto (EN 50522)

Em postos de transformação deverão ser selecionados todos os pontos metálicos suscetíveis de elevação de potencial e que estejam ao alcance do operador da instalação, como por exemplo:

- Proteção do TP;
- Ferragens de fixação (PT/PS Aéreos);
- Comandos de Seccionadores/Interruptores/Combinados;
- Porta e Redes de Vedação (PT/PS Cabine);
- Estrutura do QGBT;
- Outras estruturas metálicas suscetíveis de serem tocadas.

Na figura 16 é apresentado um exemplo de medição da tensão de contacto com recurso a dois pesos de 25 kg, colocados a 1 m de distância da vedação de um transformador MT/BT.



Figura 16 — Exemplo prático de medição da tensão de contacto num PT

8.3. Boas Práticas

As práticas seguintes devem ser seguidas e/ou poderão ajudar na identificação de possíveis erros durante a realização das medições.

Durante a realização de uma medição, caso não se consigam ou se estejam a obter valores não esperados, deve-se:

- Verificar outputs do equipamento de medição (valores de tensão e corrente) com pinças amperimétricas e multímetro;
- Confirmar valores obtidos com recurso a um segundo equipamento (de marcas diferentes, quando possível);
- Aumentar número de elétrodos (de corrente e potencial);
- Aumentar corrente de injeção, sob condição de alocar uma pessoa para permanecer junto do(s) elétrodo(s) de corrente, com o intuito de assegurar que ninguém entra em contacto com o(s) elétrodo(s) no decorrer da medição;
- Aquando da realização de medições de tensão de contacto com a placa metálica, colocar um pano humedecido (debaixo da placa metálica) sempre que se verificar que a superfície do solo é de elevada resistividade (por exemplo, betão) ou o solo estiver muito seco;
- Registar e guardar as coordenadas onde foram colocados os elétrodos de corrente e potencial;
- Garantir o bom contacto dos elétrodos com o solo ao longo de todo o comprimento enterrado dos mesmos, conforme esquematizado na figura 17. Esta ação é particularmente importante em solos mais arenosos.

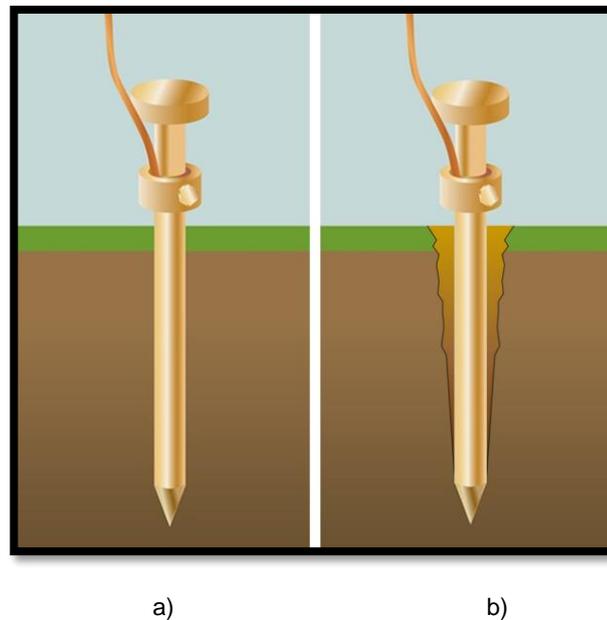


Figura 17 – Exemplo de colocação dos elétrodos: (a) correta / (b) incorreta

9. CONSTRANGIMENTOS ÀS MEDIÇÕES E MEDIDAS MITIGADORAS

É importante salientar que na medição da resistência de terra ocorrem situações que se traduzem em constrangimentos.

Para além da possibilidade de efetuar melhoria de terras das instalações, elencam-se no quadro seguinte alguns constrangimentos ao nível das tensões de contacto e exemplos de respetivas medidas mitigadoras.

Quadro 6

Exemplos de soluções de mitigação para constrangimentos na medição da tensão de contacto

Instalação	Constrangimentos / Pontos de medição com valores acima dos 87,5 V	Medida mitigadora
Postos de transformação aéreos	Ferragens de fixação	Providenciar pisos ou pavimentos que isolem suficientemente as áreas de serviço perigosas do solo *
	Estrutura do QGBT	Providenciar pisos ou pavimentos que isolem suficientemente as áreas de serviço perigosas do solo *
	Outras estruturas metálicas suscetíveis de serem tocadas	Providenciar pisos ou pavimentos que isolem suficientemente as áreas de serviço perigosas do solo *
Postos de seccionamento e transformação em cabine (exterior)	Portas	Isolar todas as partes metálicas acessíveis possíveis de ser isoladas. Caso não seja possível, providenciar pisos ou pavimentos que isolem suficientemente as áreas de serviço perigosas do solo *
	Fechaduras	Providenciar pisos ou pavimentos que isolem suficientemente as áreas de serviço perigosas do solo *
	Grelhas de ventilação	Isolar todas as partes metálicas acessíveis ou torná-las inacessíveis
	Outras estruturas metálicas suscetíveis de serem tocadas (do PT ou na sua proximidade)	Isolar todas as partes metálicas acessíveis ou torná-las inacessíveis

Nota: * Preferencialmente realizar passeio em betão com 1,0 m de largura e 0,07 m de espessura em torno da zona de possível contacto, com malha-sol enterrada a 0,10 m de profundidade na sua base (ligada à terra de proteção do PT). Em situações específicas, devidamente validadas, pode ser considerada a hipótese de utilização de uma plataforma de manobra.

Caso todos os pontos medidos apresentem valores acima dos **87,5 V**, dever-se-á considerar a possibilidade de realizar passeio em betão com 1,0 m de largura e 0,07 m de espessura em torno da zona de possível contacto, com malha-sol enterrada a 0,10 m de profundidade na sua base (ligada à terra de proteção do PT).

Caso algum dos pontos medidos no interior de Postos de Transformação (Ex. Porta, estrutura do QGBT, vedações, etc.) apresente valores acima dos **340 V**, dever-se-á fazer uma análise dedicada.

ANEXO B – MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE DO SOLO

A primeira informação necessária para a elaboração de um sistema de terras é o conhecimento prévio das características do solo, sobretudo no que diz respeito à sua constituição. Portanto, conhecer o valor da resistividade do solo é fundamental aquando da realização de um projeto de terras.

A resistividade do solo varia de um local para outro e, ainda, durante as estações do ano. Para a sua medição são normalmente utilizados dois métodos:

- Medição por amostragem;
- Medição local.

A medição por amostragem é caracterizada por ensaios em laboratório de uma ou várias amostras de solo recolhido no local, cuja resistividade se deseja conhecer. Este tipo de medição apresenta um grande inconveniente, pois não pode assegurar que a amostra apresente no laboratório exatamente as mesmas características que apresentava no local de origem, principalmente em relação à humidade e compactação.

A medição local é caracterizada pela imposição de determinados sinais eletromagnéticos em regiões limitadas do solo, através de elétrodos adequadamente posicionados, sendo possível caracterizar, pela deteção dos potenciais estabelecidos nas imediações, a composição do solo na região, em termos da sua resistividade.

B1. Descrição do método de medida da resistividade do solo por medição local

A medição da resistividade do solo pode ser realizada através de dois métodos:

- Método de Wenner;
- Método de Schlumberger⁶.

O método de Wenner é utilizado para medir a resistividade aparente de uma grande porção de terreno até uma certa profundidade e baseia-se na colocação, à mesma profundidade, de quatro elétrodos auxiliares, dois de corrente e dois de tensão, em linha reta e equidistantes, no solo a ser avaliado.

A distância entre os elétrodos (A) deve ser pelo menos 3 vezes maior do que a profundidade (B) a que estes se encontram enterrados ($A=3B$).

Posteriormente, deverá ser aplicada uma corrente elétrica conhecida com recurso a uma fonte com capacidade de gerar uma tensão alternada entre 50 V e 150 V, fixa, nos dois elétrodos auxiliares de corrente (os mais afastados) e deverá ser monitorizada as tensões que surgem no solo através dos dois elétrodos auxiliares de tensão.

O esquema de princípio encontra-se ilustrado na figura B1:

⁶ O método Schlumberger é baseado no método Wenner, mas obtém uma sensibilidade superior em testes com distâncias de medição maiores. Nesta configuração, o espaçamento entre os elétrodos de tensão é mantido fixo no centro do sistema, enquanto a distância dos elétrodos de corrente é variada.

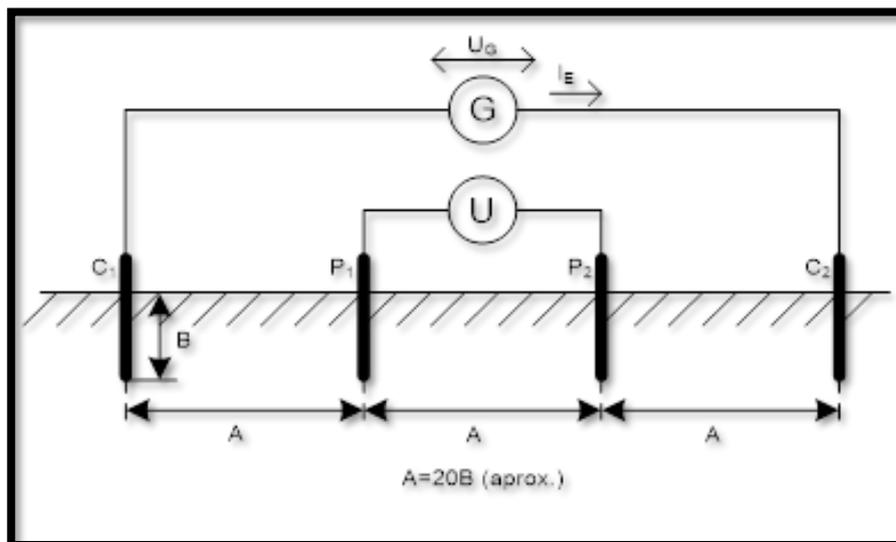


Figura B1: Esquema de princípio do método de Wenner

Aplicando a Lei de Ohm é encontrada o valor da resistência do solo entre os dois elétrodos de referência.

Assim, se considerarmos que estamos perante um solo homogéneo, a resistividade do solo é calculada através da equação:

$$\rho E = \frac{4 \times \pi \times A \times R_m}{1 + \frac{2A}{\sqrt{A^2 + 4 \times B^2}} - \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}}}$$

onde:

- ρE Resistividade do solo (Ωm);
- A Distância entre elétrodos auxiliares (m);
- B Profundidade dos elétrodos auxiliares (m);
- R_m Valor da resistência entre dois elétrodos auxiliares de tensão (Ω).

Segundo Wenner, se a distância entre os elétrodos for muito maior que a profundidade a que eles se encontram (cerca de 20x, $A = 20B$), então a resistividade do solo poderá ser aproximada pela relação:

$$\rho E = 2 \times \pi \times A \times R_m$$

O método de medição de Wenner determina a resistividade do solo até uma profundidade que equivale, aproximadamente, a 75 % da distância A (distância entre os elétrodos de terra utilizados).

Deste modo, aumentando-se a distância A várias vezes, podemos obter um perfil de medidas com base no qual é possível identificar o tipo de solo e, assim, seleccionar a configuração da rede de terras mais adequado.

As curvas da figura B2 ilustram resultados possíveis que poderão ser obtidos com a variação de A :

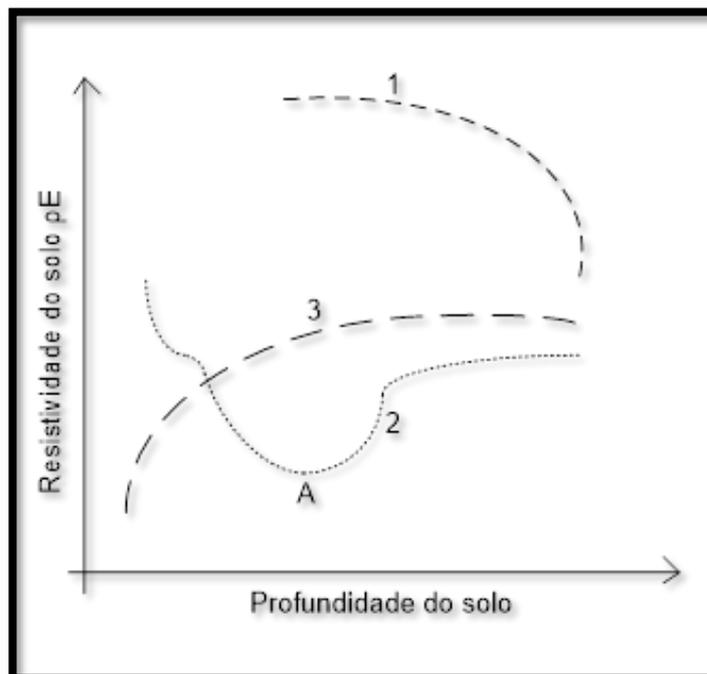


Figura B2: Curvas representativas da variação da com a profundidade para três situações distintas

Analisando as curvas podemos concluir:

- Se estivermos perante um solo caracterizado pela curva 1, onde ρE diminui com a profundidade, concluiu-se que a configuração da rede de terras deverá desenvolver-se em profundidade;
- Se estivermos perante um solo caracterizado pela curva 2, onde ρE diminui apenas até uma determinada profundidade, A, concluiu-se que a rede de terras deverá desenvolver-se até essa profundidade.
- Se estivermos perante um solo caracterizado pela curva 3, onde ρE aumenta com a profundidade, concluiu-se que a rede de terras deverá desenvolver-se junto à superfície.

B2. Implementação do método no terreno

De forma a implementar no terreno o método de Wenner, o executante deverá seguir, sequencialmente os seguintes passos:

1º - Levantamento das condições da instalação e da envolvente

Antes de se dar início à execução física dos trabalhos devem ser identificados os seguintes pontos:

- Identificação e enquadramento do local onde serão executadas as medições;
- Identificação das necessidades humanas e materiais necessárias;
- Identificação dos locais onde serão colocados os elérodos de terra auxiliares.

2º - Implantação dos elérodos auxiliares e realização das ligações elétricas

Antes de colocar os elérodos auxiliares deverá ser selecionado e identificado o ponto central da medição (ponto X da figura B3). Este ponto será a referência para as medições.

Em seguida, os elérodos de terra auxiliares de tensão, **P1** e **P2**, e os elérodos de corrente, **C1** e **C2**, têm de ser colocados em linha reta e de forma equidistante entre eles, (distância "A"), como está ilustrado na figura B3.

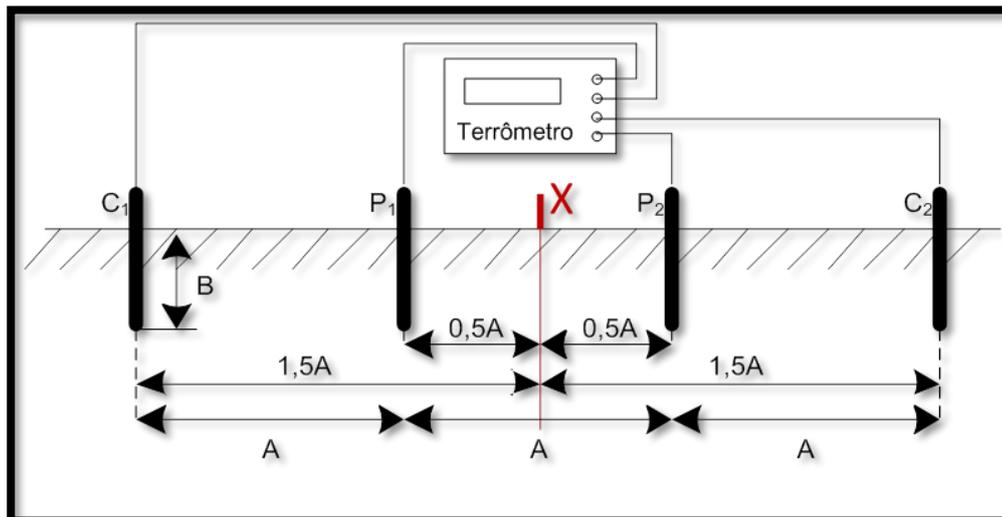


Figura B3: Esquema ilustrativo do método de Wenner

Posteriormente, deverá ser executada a interligação dos elétrodos de terra com o equipamento de medida através de condutores para o efeito e executado o registo do valor da resistência calculado pelo equipamento de medida, R_m .

Por fim, deverá ser executado o mesmo procedimento alterando apenas o valor de “A”, mantendo o ponto central das medições. Quantas mais medições efetuadas, maior será o conhecimento em profundidade da resistividade do solo. O quadro seguinte pode ser utilizado para auxiliar os executantes dos trabalhos no terreno:

Quadro B1

Quadro auxiliar para apoio no registo das medições a efetuar

Valor de A (m)	Valor entre o ponto central e o elétrodo P1 e P2 ($0,5xA$) (m)	Valor entre o ponto central e o elétrodo C1 e C2 ($1,5xA$) (m)	Profundidade da medição ($0,75xA$) (m)	Valor medido pelo equipamento, R_m (Ω)	Resistividade do solo, $2\pi\pi AxR_m$ (Ωxm)
1	0,5	1,5	0,75		
2	1	3	1,5		
4	2	6	3		
6	3	9	4,5		
8	4	12	6		
10	5	15	7,5		
12	6	18	9		
14	7	21	10,5		
16	8	24	12		
18	9	27	13,5		
20	10	30	15		
25	12,5	37,5	18,75		
30	15	45	22,5		

3º - Cálculo da resistividade do solo para as várias profundidades e análise dos resultados

Depois de registados todos os valores fornecidos pelo equipamento de medida, é necessário proceder ao cálculo da resistividade do solo. Para tal, basta aplicar a equação seguinte e assim preencher a última coluna da tabela anterior.

$$\rho E = 2 \times \pi \times A \times R_m$$

Para efetuar uma análise das características do solo, torna-se necessário efetuar um gráfico onde o eixo das abscissas representa o valor da profundidade do solo ($0,75 \times A$) e o eixo das ordenadas o valor da resistividade do solo calculado.

Por fim, de forma a selecionar a tipologia da rede de terras mais indicada e a sua forma de execução, aconselha-se a consulta do Guia Técnico de Terras (DRE-C11-040).

ANEXO C – MEDIDAS MITIGADORAS (GLOBAIS E GENÉRICAS)

Quer na medição da resistência de terra, quer na medição da tensão de contacto, ocorrem situações que se traduzem em constrangimentos de diversa ordem.

O quadro apresenta, de forma genérica e sem preocupação de atribuição individual, algumas das medidas mitigadoras, global e genericamente referenciadas nos documentos regulamentares, legislação e normalização nacional e internacional.

Quadro C.1

Exemplos de soluções de mitigação para constrangimentos nas medições

Constrangimentos	Formas de mitigar
<p>Aplicação do método seletivo</p> <p>(Fonte: Manual Prático de Medição da Resistência de Terra e Resistividade do solo – EDP D/12/2013)</p>	<p>Na aplicação do método seletivo em zonas com elevada concentração de PT/PS interligados pelo condutor de neutro, pode surgir uma dificuldade em colocar os eléctrodos de terra auxiliares, fora da zona de influência da rede de terras.</p> <p>Nesses casos, desligar o condutor proveniente do eléctrodo de terra que se pretende medir do restante circuito de terras (aplicar método das quedas de tensão).</p>
<p>Eléctrodos auxiliares com elevadas resistências de contacto</p> <p>(Fonte: Manual Prático de Medição da Resistência de Terra e Resistividade do solo – EDP D/12/2013)</p>	<p>Durante a execução da medição do valor da resistência de terra o equipamento poderá dar um erro indicando que o circuito se encontra em aberto. Confirmadas as ligações constatamos que o circuito se encontra fechado e todas a ligações foram executadas. Esta situação acontece devido à elevada resistência de contacto com a terra dos eléctrodos auxiliares.</p> <p>A forma de mitigar essa situação passa por colocar outros eléctrodos em paralelo ou com a colocação de água junto aos eléctrodos auxiliares de forma a reduzir a resistência de contacto.</p>
<p>Reduzir o perigo provocado pelas tensões de passo e de contacto</p> <p>(Fonte: Decreto 42 895 – 31/03/1960)</p>	<p>Quer impedindo o acesso aos locais onde esses gradientes sejam mais elevados, quer evitando que possam tomar valores elevados (Na prática, os métodos utilizados neste sentido baseiam-se no conhecimento de que, em solo homogéneo, o gradiente de potencial diminui com o quadrado da distância ao eléctrodo; o valor máximo verifica-se, portanto, na vizinhança imediata deste e é inversamente proporcional ao quadrado das suas dimensões lineares. Deste modo, conclui-se que o método mais eficaz de evitar o aparecimento de elevadas tensões de passo e de contacto está na utilização de eléctrodos extensos).</p> <p>No caso em que só seja de considerar a tensão de passo, esta poderá ser consideravelmente reduzida enterrando profundamente o eléctrodo e isolando o condutor de terra até emergir do solo.</p> <p>Outro método, também eficaz na redução simultânea das tensões de passo e de contacto, consiste no recurso a eléctrodos filiformes em anel, envolvendo os pontos de potencial máximo, ligados entre si e colocados a profundidades crescentes com o raio do anel (eléctrodos de atenuação).</p>

<p>Perigo das tensões de contacto, no que se refere a portas e vedações metálicas</p> <p>(Fonte: Decreto 42 895 – 31/03/1960)</p>	<p>Poder-se-á optar por um dos dois processos gerais ou fazer com que tomem o mesmo potencial do terreno adjacente, mais ou menos condutor, ou revestir este com um piso isolante (por exemplo, uma camada bem drenada de brita). De qualquer forma, porém, surgirá o problema de ligar ou não essas portas metálicas à terra de proteção.</p> <p>No caso de as vedações e portas se encontrarem na zona de influência da terra de proteção, é justificável proceder à ligação a essa terra e até convirá estender um elétrodo, ligado ao mesmo circuito, nas vizinhanças das vedações.</p> <p>Caso contrário, estará mais indicado deixar as vedações tomar o potencial do solo adjacente e, na hipótese de não seguirem uma linha equipotencial, subdividi-las em partes isoladas umas das outras e em contacto com o solo.</p> <p>Raramente, porém, se justifica a precaução especial de ligar à terra as portas, ou vedações, desde que, pela sua situação, não corram perigo de contacto com a alta tensão</p>
<p>Medidas especificadas para garantir uma tensão de contacto abaixo do valor máximo permitido</p> <p>(Fonte: EN 50522:2022)</p>	<p>Medidas especificadas reconhecidas para muros exteriores de edificios com instalações interiores. Pode ser usada uma das medidas especificadas reconhecidas M1.1 a M1.3 como proteção contra Tensão de Contacto externa:</p> <p>M 1.1 - Usar material não condutor para os muros exteriores (por exemplo alvenaria ou madeira) e evitar partes metálicas ligadas à terra que possam ser tocadas do exterior</p> <p>M 1.2 - Elétrodo horizontal para regularização de potencial que poderá estar ligado ao sistema de terra, a uma distância aproximada de 1 m para fora do muro exterior e a uma profundidade inferior a 0,5 m com uma profundidade recomendada de 0,2 a 0,3 m</p> <p>M 1.3 - Isolação da “zona de operação”: As camadas de material isolante devem ter dimensões suficientes, para que seja impossível tocar nas partes condutoras ligadas à terra com uma mão de um local fora da camada isolante. Se o contacto apenas for possível numa direção lateral, uma camada de 1,25 m de espessura será suficiente.</p> <p>O isolamento da zona de operação é considerado suficiente nos casos seguintes:</p> <ul style="list-style-type: none">• Uma camada de gravilha ou brita com uma camada de espessura de pelo menos 100 mm• Uma camada de asfalto com uma base adequada (por exemplo, asfalto ou gravilha)• Um tapete isolante com uma área mínima de 1000 mm x 1000 mm e uma espessura de pelo menos 2,5 mm ou uma medida que assegure uma isolação equivalente <p>Medidas especificadas reconhecidas para vedações exteriores de instalações exteriores. Pode ser usada uma das medidas especificadas reconhecidas M2.1 a M2.3 como proteção contra Tensão de Contacto externa; para portões em vedações internas devem também ser consideradas as medidas especificadas reconhecidas M2.4:</p> <p>M 2.1 – Usar vedações de material não condutor ou de material coberto de plástico</p> <p>M 2.2 - Quando for usada uma vedação de material condutor, deve ser instalado um elétrodo horizontal para regularização de potencial que poderá estar ligado ao sistema de terra, a uma distância aproximada de 1m para fora da vedação exterior e a uma profundidade inferior a 0,5 m. A ligação da vedação ao sistema de terra é opcional e de acordo com as alternativas do Anexo G (slides seguintes). Ver medida M 2.4</p>

Medidas especificadas para garantir uma tensão de contacto abaixo do valor máximo permitido

(Fonte: EN 50522:2022)

M 2.3 - Isolação da zona de operação de acordo com M 1.3 e ligação à terra da vedação de acordo com o Anexo G ou ligando ao sistema de terra.

M 2.4 – Se os portões de vedações externas estiverem ligados diretamente ao sistema de terras ou através de condutores de proteção ou de bainhas de cabos (de sistemas de localização de pessoal, etc), então na área de abertura dos portões deverá ser instalado um elétrodo para regularização de potencial ou deve isolar-se a zona de operação de acordo com M 1.3.

Quando os portões de uma vedação de material condutor aterrada separadamente forem ligados ao sistema de terra principal, os portões deverão ser isolados das partes condutoras da vedação de uma forma que estabeleça uma separação elétrica de pelo menos 2,5 m. Isto pode ser conseguido utilizando uma secção de vedação de material não condutor ou utilizando uma vedação condutora com inserções isoladas na extremidade. Deve-se ter o cuidado de garantir que a separação elétrica seja mantida quando os portões estiverem totalmente abertos.

Medidas especificadas reconhecidas para instalações interiores. Dentro das instalações interiores, pode ser usada uma das medidas especificadas reconhecidas M3.1 a M3.3:

M 3.1 – Regularização de potencial através da incorporação de malha nas fundações do edifício (por exemplo, com secção mínima de 50 mm² e largura máxima de malha de 10 m ou malha-sol) e ligação à rede de terra em, no mínimo, dois locais separados.

Se a armadura de aço em cimento também for usada para dissipar a corrente de defeito, a capacidade da armadura de aço deverá ser dimensionada em conformidade.

Se for utilizada malha-sol, as malhas adjacentes deverão ser interligadas pelo menos uma vez e todas deverão ser ligadas ao sistema de terra no mínimo em dois locais.

Em edifícios existentes poderá ser utilizado um elétrodo de terra horizontal, que deverá ser enterrado no solo próximo das paredes externas e ligado ao sistema de terra.

M 3.2 – Construção das zonas de operação em metal (por exemplo, grelha metálica ou placa metálica) e ligação à terra de quaisquer peças metálicas que possam ser tocadas a partir do local de operação.

M 3.3 Isolamento das zonas de operação sujeitas a elevação do potencial de terra de acordo com medida especificada reconhecida M 1.3. Para a ligação equipotencial, as partes metálicas que possam ser tocadas simultaneamente a partir do local de operação devem ser interligadas e ligadas à terra.

Medidas especificadas reconhecidas para instalações exteriores:

M 4.1 – Em zonas de operação (apenas aplicável para duração de defeito "t"
_ "f" > 5 s):

Regularização de potencial utilizando elétrodo de terra horizontal colocado a uma profundidade de aproximadamente 0,2 m e a uma distância de aproximadamente 1 m do equipamento a ser operado. Este elétrodo de terra horizontal deve ser ligado ao sistema de terra e a todas as peças metálicas que possam ser tocadas no local de operação.

ou

Construção das zonas de operação em metal (por exemplo, grelha metálica ou placa metálica) e ligação à terra de quaisquer peças metálicas que possam ser tocadas a partir do local de operação.

ou

Isolamento do local de acordo com medida especificada reconhecida M 1.3. Para a ligação equipotencial, as partes metálicas que possam ser tocadas a partir do local de operação devem ser ligadas à terra.

<p>Medidas especificadas para garantir uma tensão de contacto abaixo do valor máximo permitido</p> <p>(Fonte: EN 50522:2022)</p>	<p>M 4.2 – Enterrar um elétrodo horizontal em forma de anel fechado, envolvendo o sistema de terra. No interior deste anel deverá ser enterrada uma malha de terra, cujas quadriculas deverão ter dimensões máximas de 10 m x 50 m. Em partes individuais da instalação, situadas fora do anel e ligadas ao sistema de terra, deverá ser colocado um elétrodo de terra de regularização de potencial a uma distância de aproximadamente 1 m e a uma profundidade de aproximadamente 0,2 m (por exemplo, hastes de Franklin, que sejam ligadas ao sistema de terra através de condutores de proteção).</p>
<p>Outras medidas complementares</p> <p>(Fonte: Ofício DGEG – 27/03/2023)</p>	<p>Tornar inacessíveis as áreas perigosas;</p> <p>Providenciar pisos ou pavimentos que isolem suficientemente as áreas de serviço perigosas do solo;</p> <p>Isolar todas as partes metálicas acessíveis;</p> <p>Estabelecer a ligação equipotencial entre a área onde o serviço é executado e todos os elementos condutores acessíveis a partir dela;</p> <p>Operar de acordo com os procedimentos de segurança adequados.</p>