



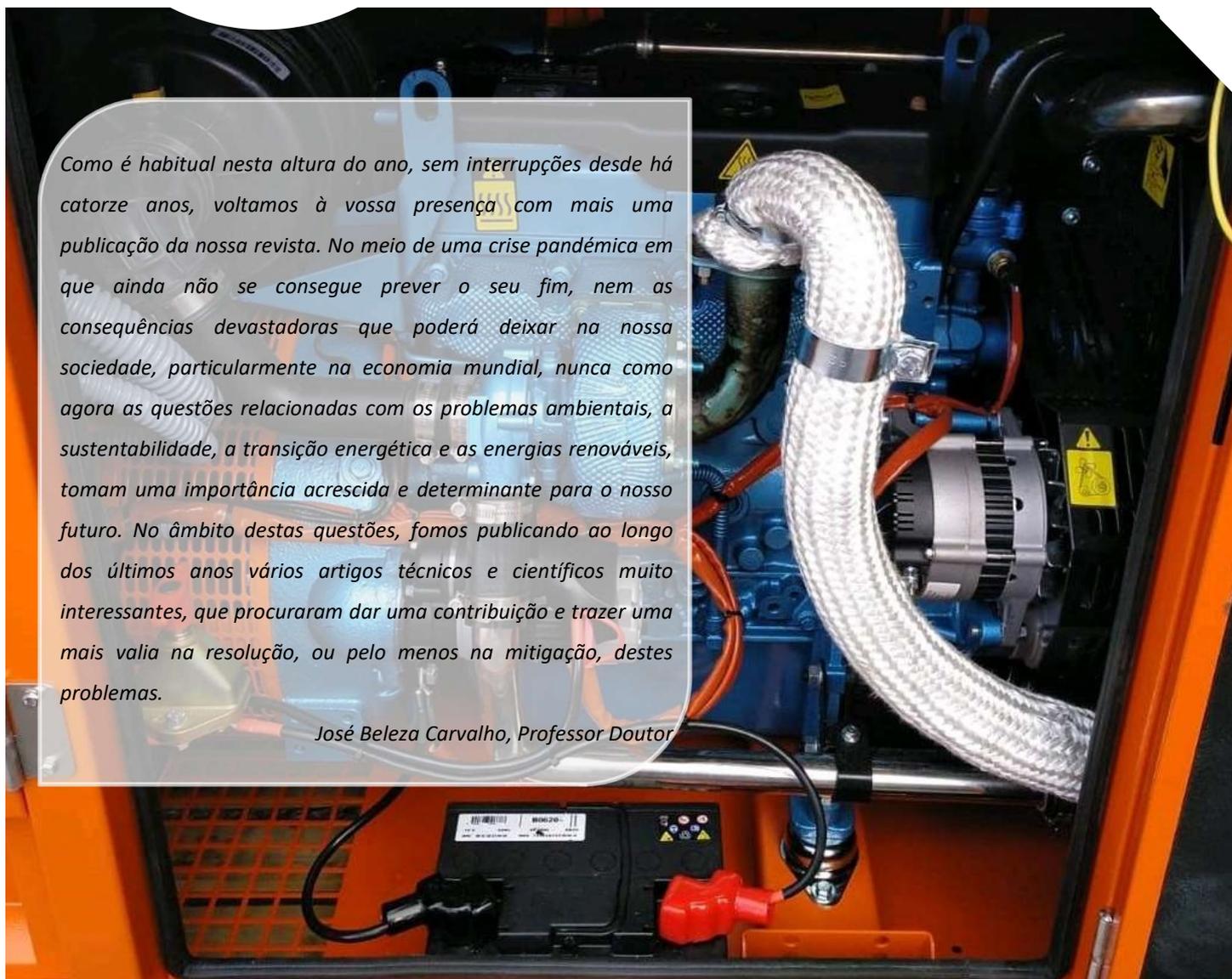
NEUTRO À TERRA

Revista Técnico-Científica

<http://www.neutroaterra.blogspot.com>

Como é habitual nesta altura do ano, sem interrupções desde há catorze anos, voltamos à vossa presença com mais uma publicação da nossa revista. No meio de uma crise pandémica em que ainda não se consegue prever o seu fim, nem as consequências devastadoras que poderá deixar na nossa sociedade, particularmente na economia mundial, nunca como agora as questões relacionadas com os problemas ambientais, a sustentabilidade, a transição energética e as energias renováveis, tomam uma importância acrescida e determinante para o nosso futuro. No âmbito destas questões, fomos publicando ao longo dos últimos anos vários artigos técnicos e científicos muito interessantes, que procuraram dar uma contribuição e trazer uma mais valia na resolução, ou pelo menos na mitigação, destes problemas.

José Beleza Carvalho, Professor Doutor



Máquinas e Veículos Elétricos



Produção, Transporte e Distribuição Energia



Instalações Elétricas



Telecomunicações



Segurança



Gestão de Energia e Eficiência Energética



Automação, Gestão Técnica e Domótica

ÍNDICE

- Editorial	3
- Esquemas de Ligação à Terra e Proteção das Pessoas em Instalações Elétricas de Baixa Tensão José António Beleza Carvalho	5
- <i>Core Loss Estimation Under Sinusoidal and Non-Sinusoidal Flux Densities Waveforms: Overview and Challenges</i> Pedro Miguel Azevedo De Sousa Melo	15
- De olhos postos no futuro: do <i>Mild Hybrid</i> ao <i>Fuel Cell</i> Rui Jorge dos Santos Araújo e Conceição Baltazar	23
- Baterias: a “alma” dos veículos elétricos não para de somar vantagens Ricardo Manuel Oliveira Soares	25
- Abordagem na Remodelação e Aumento de Capacidade de Linhas Aéreas de Muito Alta Tensão Nuno Miguel de Deus Anselmo Silva	27
- Estudo de alteração de um sistema de climatização de uma unidade hospitalar: avaliação económica Paulo Sérgio Fernandes Barros	33
- Emissões de CO ₂ e Produção de Resíduos Radioativos pelas Fontes Energéticas em Portugal Ana Catarina Aguiar Leitão Barbosa, Teresa Alexandra Ferreira Mourão Pinto Nogueira	39
- Graus de Proteção Assegurados pelos Invólucros António Augusto Araújo Gomes, Sérgio Filipe Carvalho Ramos	45
- Autores	48

FICHA TÉCNICA

DIRETOR:	José António Beleza Carvalho, Doutor
SUBDIRETORES:	António Augusto Araújo Gomes, Eng. Roque Filipe Mesquita Brandão, Doutor Sérgio Filipe Carvalho Ramos, Doutor
PROPRIEDADE:	Área de Máquinas e Instalações Elétricas Departamento de Engenharia Electrotécnica Instituto Superior de Engenharia do Porto
CONTATOS:	jbc@isep.ipp.pt ; aag@isep.ipp.pt

Estimados leitores

Como é habitual nesta altura do ano, sem interrupções desde há catorze anos, voltamos à vossa presença com mais uma publicação da nossa revista. No meio de uma crise pandémica em que ainda não se consegue prever o seu fim, nem as consequências devastadoras que poderá deixar na nossa sociedade, particularmente na economia mundial, nunca como agora as questões relacionadas com os problemas ambientais, a sustentabilidade, a transição energética e as energias renováveis, tomam uma importância acrescida e determinante para o nosso futuro. No âmbito destas questões, fomos publicando ao longo dos últimos anos vários artigos técnicos e científicos muito interessantes, que procuraram dar uma contribuição e trazer uma mais valia na resolução, ou pelo menos na mitigação, destes problemas.

Nesta edição da revista merece particular destaque um artigo científico, que é publicado em Inglês, sobre a estimação das perdas no ferro para formas de onda sinusoidal e não sinusoidal da indução magnética. Este é atualmente um assunto fundamental na conceção e no modo de funcionamento das máquinas elétricas, sendo um contributo determinante na conceção de máquinas elétricas especiais mais eficientes. O artigo faz uma análise científica detalhada sobre este assunto.

Os assuntos relacionados com a mobilidade e os veículos elétricos estão na ordem do dia. Atualmente, existem opções desenvolvidas com o objetivo de potenciar a eficiência energética dos veículos, procurando simultaneamente reduzir as emissões dos gases nocivos para os seres humanos e dos gases que contribuem para o agravamento do efeito de estufa. Existem, atualmente, várias soluções e tecnologias, desde soluções totalmente elétricas, a combinações de motores elétricos e a combustão; de carregamento em movimento, a carregamentos ligados à rede elétrica. Todas as soluções contribuem para o objetivo de reduzir as emissões de gases nocivos. Nesta edição da revista, publicam-se alguns artigos sobre o assunto, que efetuam uma análise comparativa das características e das várias soluções técnicas que existem atualmente disponíveis no mercado.

Outro assunto muito importante, também relacionado com a problemática da sustentabilidade ambiental, tem a ver com a remodelação e aumento da capacidade de transmissão das linhas de alta e muito alta tensão. Nesta edição, publica-se um interessante artigo sobre o aumento da capacidade de transporte de energia pelas infraestruturas existentes atualmente, construídas nos anos 70. Estas instalações foram projetadas para um ciclo de vida económica e de engenharia de 50 anos. Agora requerem uma extensão do seu funcionamento, para conseguirem assegurar a devida qualidade do serviço. Atendendo a diversos constrangimentos para a construção de novas linhas aéreas, coloca-se a necessidade de otimização das instalações existentes torna-se uma prioridade antes de ponderar a construção de novas linhas aéreas. O artigo que é agora publicado procura definir uma metodologia na remodelação e aumento de capacidade das atuais Linhas Aéreas de Muita Alta Tensão.

Nesta edição publica-se um importante artigo técnico sobre as emissões de CO₂ e a produção de resíduos radioativos pelas fontes energéticas em Portugal. No artigo são apresentados os resultados do cálculo das emissões específicas e totais de dióxido de carbono, e da produção específica dos resíduos radioativos de alta atividade, para diferentes comercializadores de energia em Portugal Continental e Regiões Autónomas. Os resultados são obtidos através dum simulador de cálculo de emissões, desenvolvido para o estudo que é apresentado. A metodologia adotada no estudo está em conformidade com a legislação em vigor, a Diretiva nº16/2018.

Nesta edição da revista “Neutro à Terra” pode-se ainda encontrar outros assuntos reconhecidamente importantes e atuais, como um artigo sobre os esquemas de ligação à terra e a proteção das pessoas contra contactos indiretos em instalações elétricas de baixa tensão, outro artigo sobre as instalações de climatização de uma unidade hospitalar, e outro sobre os graus de proteção assegurados pelos invólucros dos equipamentos utilizados nas instalações elétricas.

Fazendo votos que esta edição da revista “Neutro à Terra” satisfaça novamente as habituais expectativas dos nossos estimados leitores, apresento os meus cordiais cumprimentos.

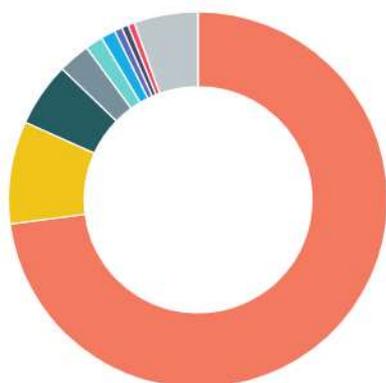
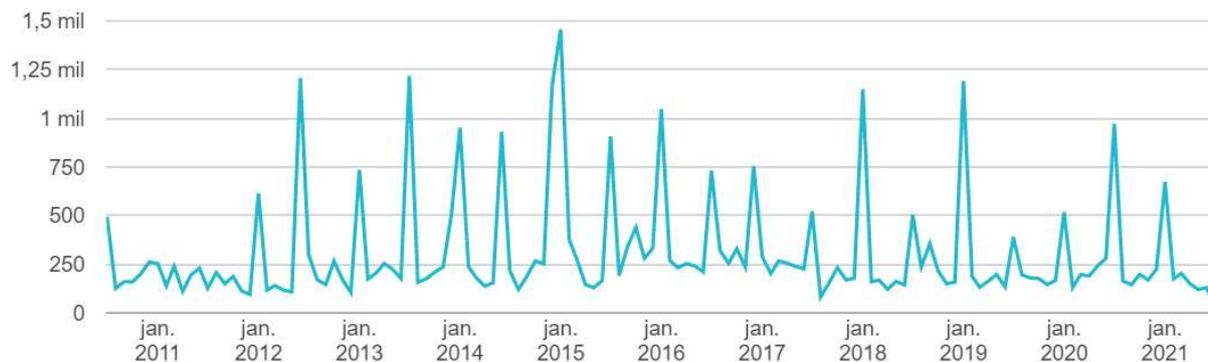
Porto, 30 de junho de 2021
José António Bezeza Carvalho

Blog:

www.neutroaterra.blogspot.com

Histórico de visualizações

40 780



Portugal	29,5 mil
Estados Unidos	3,57 mil
Brasil	2,23 mil
Alemanha	1,11 mil
Rússia	613
França	497
Angola	270
Reino Unido	230
Ucrânia	226
Outros	2,22 mil

ESQUEMAS DE LIGAÇÃO À TERRA E PROTEÇÃO DAS PESSOAS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

Resumo

Em todas as Instalações Elétricas se coloca a necessidade e a obrigatoriedade de implementação de sistemas de proteção eficazes, tendo como objetivo a sua exploração em condições de segurança. Nas Instalações Elétricas de Baixa Tensão (IEBT), as medidas de proteção que se devem considerar são, fundamentalmente, as que se referem à proteção das pessoas contra contactos (diretos e indiretos), a proteção contra sobreintensidades e, sempre que seja necessário, a proteção contra sobretensões.

Os Esquemas de Ligação à Terra (ELT) estão diretamente associados às metodologias adotadas nas IEBT no âmbito da proteção das pessoas contra contactos indiretos. Estas metodologias também são por vezes denominadas como Regimes de Neutro, pois estão associadas à forma como o Neutro é utilizado na realização do sistema de proteção. No entanto, esta definição é muito redutora, pois existem muitas instalações em que o condutor neutro não é distribuído, e nem por isso deixa de ser obrigatório a existência de um sistema eficaz de proteção das pessoas contra contactos indiretos.

1. CONCEITOS GERAIS

A regra fundamental de proteção contra choques elétricos é fornecida pelo documento IEC 61140, que abrange as instalações e os equipamentos elétricos. Peças-livres-perigosas (elementos condutores ativos) não devem ser acessíveis e as partes condutoras acessíveis devem não ser perigosas (massas condutoras).

Este requisito deve-se aplicar em condições normais e condições de defeito simples. As medidas de proteção das pessoas contra contactos diretos assentam fundamentalmente em medidas passivas, como isolamento



Figura 1: Dispositivo de proteção sensível à corrente diferencial residual

das partes ativas dos equipamentos da instalação, utilização de barreiras ou invólucros, colocação de obstáculos entre as pessoas e as partes ativas da instalação. Adoção deste tipo de medidas esta detalhada na norma IEC 60364-4-41.

Existem outras medidas particulares, como alimentação de circuitos a tensão reduzida de segurança, em que o perigo de eletrocussão nunca excederá o estipulado para a tensão limite de segurança adotada para as condições do local da instalação. De acordo com a norma IEC 60479 a máxima tensão de contacto aceitável, pelo menos durante 5s, é definida como Tensão Limite Convencional (UL), e toma o valor de 50 V em locais sem riscos especiais, e 25 V nos restantes locais. Em locais especiais, com elevado risco de eletrocussão, também podem ser adotadas medidas ativas adicionais na proteção de pessoas contra contactos diretos. Estas medidas baseiam-se no corte da alimentação da energia elétrica através da utilização de dispositivos sensíveis à corrente diferencial residual de elevada sensibilidade, de 30 mA ou até valores inferiores.

De acordo com a norma IEC 60364-4-41, dispositivos de alta sensibilidade (30 mA) devem ser utilizados para proteção de sistemas alimentados por tomadas com corrente nominal inferior a 20 A.

Duas medidas de proteção contra contactos diretos são sempre necessárias, desde que a primeira medida não seja infalível: adoção de medidas passivas e corte automático da alimentação por dispositivos de elevada sensibilidade à corrente diferencial residual.

O tratamento da proteção de pessoas contra contactos diretos é completamente independente do ELT adotado na instalação para proteção das pessoas contra contatos indiretos. Neste âmbito, existem dois níveis de proteção:

- 1º nível: colocação à terra de todas as massas condutoras dos equipamentos elétricos, constituindo um circuito equipotencial;
- 2º nível: corte automático da alimentação elétrica na secção da instalação em defeito. O tempo de atuação do dispositivo de corte obedece a requisitos específicos de acordo com a amplitude da tensão de defeito.

A proteção de pessoas contra contactos indiretos pode ser conseguida pelo corte automático da alimentação elétrica, desde que todas as massas condutoras estejam devidamente colocadas ao potencial da terra. A forma de isto se realizar define o ELT adotado na instalação. Assim, os ELT caracterizam:

- O modo de ligação à terra de um dos pontos da alimentação, em geral o neutro;
- O meio de colocação à terra das massas dos equipamentos de utilização.

Os ELT adotados nas IEBT são o esquema TT, o esquema TN e o esquema IT. O significado das diferentes letras, de acordo com a norma IEC 60364-3-1 é a seguinte:

- Primeira letra - Situação da alimentação em relação à terra:
 - T – ligação direta de um ponto à terra;
 - I – isolamento de todas as partes ativas em relação à terra, ou ligação de um ponto à terra por meio de uma impedância.

- Segunda letra – Situação das massas da instalação em relação à terra:

T – massas ligadas diretamente à terra, independentemente da eventual ligação à terra de um ponto da alimentação;

N – ligação elétrica das massas ao ponto de alimentação ligado à terra (em corrente alternada, o ponto ligado à terra é, em regra, o ponto neutro ou, se este não for acessível, um condutor de fase).

- Disposição do condutor neutro e do condutor de proteção:

S – função de neutro e de proteção garantidas por condutores distintos (condutor N e condutor PE); é o caso do esquema TN-S;

C – função de neutro e de proteção combinadas num único condutor (condutor PEN); é o caso do esquema TN-C.

A escolha do ELT condiciona adoção das medidas de proteção de pessoas contra os contactos indiretos. Em critérios de segurança das pessoas, os três ELT são equivalentes se todas as regras forem respeitadas. São imperativos de continuidade de serviço e de condições de exploração da instalação que determinam a ou as escolhas dos ELT, por vezes também denominados regimes de neutro. Um defeito de isolamento num equipamento origina a circulação de uma corrente, que deve ser interrompida num tempo compatível com a segurança das pessoas. A medida de proteção baseia-se no corte automático da alimentação e na associação das seguintes condições:

- A realização ou a existência de um circuito designado por malha de defeito, que permita a circulação da corrente de defeito, dependendo a constituição desta malha do ELT (TT, TN ou IT) adotado na instalação;
- O corte da corrente de defeito seja efetuado por um dispositivo de proteção apropriado, num tempo que depende de parâmetros como a tensão de contacto e a classificação do local quanto às influências externas, associados ao conhecimento dos efeitos da corrente elétrica no corpo humano.

A norma IEC 60364-4-41 especifica os tempos máximos de atuação dos dispositivos de proteção contra contactos indiretos. No que respeita à segurança, todos os ELT são equivalentes, desde que as regras inerentes a cada um não sejam descuradas. No entanto existem situações especiais:

- O caso dos blocos operatórios dos hospitais, onde é impensável um corte ao primeiro defeito. Neste caso o único esquema possível é o IT.
- Os centros de informática, em que as correntes de fuga são elevadas, o esquema recomendado é o TN.
- Instalações cujo comprimento das canalizações é desconhecido e locais com risco de explosão, o esquema TT será o mais adequado.

2. ESQUEMA DE LIGAÇÃO À TERRA: TT

Neste esquema de ligação à terra, todas as massas dos equipamentos elétricos protegidos por um mesmo dispositivo de proteção devem ser interligadas por meio de condutores de proteção e ligadas ao mesmo eletrodo de terra. Ao mesmo tempo, deve ser ligado à terra o ponto neutro da alimentação, ou se este não existir, uma fase. Este esquema encontra-se representado na figura 2.

Atualmente, as instalações elétricas alimentadas diretamente por uma rede de distribuição (pública) de energia elétrica em Baixa Tensão (BT), são, por enquanto, apenas realizadas segundo o esquema TT.

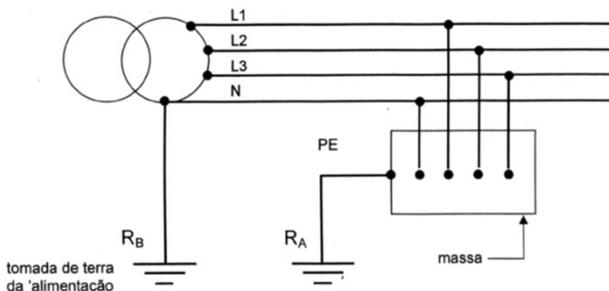


Figura 2: Esquema de Ligação à Terra TT

Neste esquema, os defeitos entre fase e massa originam a circulação de uma corrente de defeito na malha, que se fecha pela terra.

A impedância desta malha de defeito, constituída essencialmente pelas resistências dos eletrodos de terra das massas e da alimentação (neutro), limita o valor da corrente de defeito, o que torna, na prática, impossível garantir a proteção de pessoas contra os contactos indiretos com os tradicionais dispositivos de proteção contra sobrecorrentes (disjuntores e fusíveis).

A figura 3 ilustra como é constituída a malha percorrida pela corrente de defeito quando se verifica um defeito entre uma fase e a massa de um aparelho alimentado por uma rede trifásica. Em regra, a soma das resistências dos eletrodos de terra das massas e da alimentação (RA+RB) é muito superior à impedância dos outros elementos da malha, pelo que a impedância total da malha é, praticamente, igual a (RA+RB).

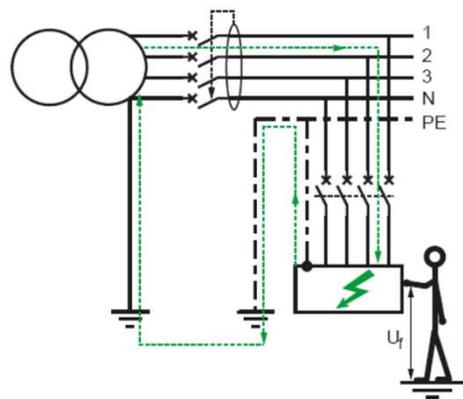


Figura 3: Malha de defeito no esquema TT (cortesia schneider electric)

A tensão de contacto presumida para o defeito será:

$$U_C = \frac{R_A}{R_A + R_B} \times U_0$$

Neste esquema TT, devem ser utilizados os seguintes dispositivos de proteção no corte automático da alimentação:

- Dispositivos diferenciais (preferencialmente);
- Dispositivos de proteção contra sobrecorrentes, apenas quando as resistências dos eletrodos de terra tiverem valores muito baixos (solução que na prática tem pouca aplicabilidade).

De acordo com a normalização internacional, os dispositivos diferenciais (dispositivos sensíveis à corrente diferencial residual de defeito), encontram-se agrupados por “sensibilidades”, associadas ao valor da sua corrente diferencial estipulada ($I_{\Delta n}$).

A sensibilidade do dispositivo diferencial deve satisfazer a seguinte condição:

$$I_{\Delta n} \leq \frac{U_L}{R_A}$$

onde o valor a considerar para a tensão limite convencional (U_L) depende da classificação dos locais quanto às influências externas.

O valor da sensibilidade do dispositivo diferencial é indiferente do valor da resistência do eléctrodo de terra da alimentação (R_B), dependendo, apenas do tipo de local (U_L) e da resistência do eléctrodo de terra das massas (R_A).

Da expressão anterior e, caso não existam outros condicionalismos, também se pode obter o valor máximo admissível para a resistência do eléctrodo de terra das massas (R_A) em função do valor mais elevado da corrente diferencial estipulada ($I_{\Delta n}$), adotada nos dispositivos diferenciais dos diferentes circuitos da instalação elétrica. Assim, existem tabelas onde são indicados os valores máximos da resistência do eléctrodo de terra das massas, para que a tensão de contacto (U_c) não ultrapasse a tensão limite convencional em instalações de corrente alternada ($U_L=25$ V ou $U_L=50$ V, consoante a classificação do local quanto às “influências externas”), em função do maior valor da corrente diferencial estipulada ($I_{\Delta n}$) a utilizar no dispositivo diferencial.

Para que a tensão de contacto não tome valores perigosos para as pessoas (tem que ser inferior à tensão limite convencional especificada para o local), o tempo de atuação do dispositivo de proteção tem que ser muito rápido e deve obedecer à normalização em vigor, de forma a evitar efeitos fisiopatológicos da corrente elétrica no ser humano.

O procedimento de cálculo do dispositivo diferencial deve assentar no seguinte:

$$U_C \leq U_L \quad I_{\Delta n} \leq I_d \quad I_{\Delta n} \leq \frac{U_L}{R_A}$$

A norma IEC 60364-4-41 especifica o tempo máximo de atuação dos dispositivos de proteção contra contactos indirectos no esquema TT. Circuitos finais cuja corrente nominal não excede 32 A, o tempo de atuação não deve exceder 0,2 s. Em todos os outros circuitos, o tempo de atuação não deve exceder 1s, devendo-se garantir a seletividade entre dispositivos diferenciais no mesmo circuito de distribuição.

De acordo com a norma IEC 60364-4-41, dispositivos de alta sensibilidade (30 mA) devem ser utilizados para proteção de sistemas alimentados por tomadas com corrente nominal inferior a 20 A.

A utilização de dispositivos de elevada sensibilidade também é recomendada nos seguintes casos:

- Locais húmidos;
- Instalações elétricas temporárias alimentadas por tomadas;
- Lavandarias e piscinas;
- Caravanas, barcos de recreio;
- Instalações ambulantes, feiras.

3. ESQUEMA DE LIGAÇÃO À TERRA: TN

Este ELT caracteriza-se por todas as massas da instalação de utilização serem ligadas ao ponto da alimentação ligado à terra, próximo do transformador ou do gerador de alimentação da instalação, por meio de condutores de proteção.

O ponto da alimentação ligado à terra é, em regra, o ponto neutro. Caso não exista neutro, deve ser ligado à terra um condutor de fase, não podendo, em caso algum, este condutor ser utilizado como condutor PEN.

Nas instalações alimentadas diretamente por uma rede de distribuição (pública) em BT não é, por enquanto, possível a utilização do esquema TN nas instalações de utilização de energia elétrica em baixa tensão.

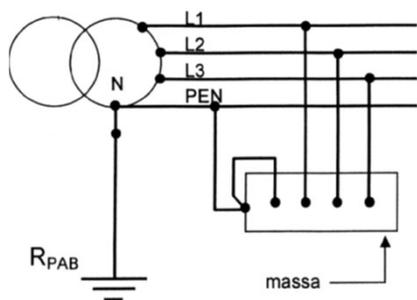


Figura 4: Esquema de Ligação à Terra TN-C

As medidas de proteção das pessoas contra contatos indiretos neste ELT podem ser realizadas dos seguintes modos:

- TN-C: as funções do condutor neutro (condutor N) e do condutor de proteção (condutor PE) estão combinadas num único condutor (condutor PEN) na totalidade do esquema;
- TN-S: as funções do condutor neutro (condutor N) e do condutor de proteção (condutor PE) são distintas na totalidade do esquema;
- TN-C-S: as funções do condutor neutro (condutor N) e do condutor de proteção (condutor PE) estão combinadas num único condutor (condutor PEN) numa parte da instalação e são distintas na restante instalação (condutor N e condutor PE).

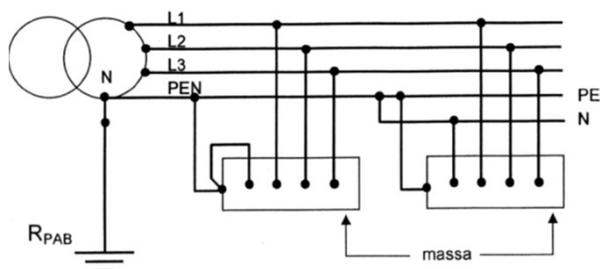


Figura 5: Esquema de Ligação à Terra TN-C-S

Nas instalações fixas, pode-se utilizar um só condutor com as funções de condutor de proteção e de condutor neutro (designado por condutor PEN) desde que o condutor de proteção tenha uma secção não inferior a 10 mm² se de cobre, ou a 16 mm² se de alumínio, e a parte da instalação comum (esquema TN-C) não esteja localizada a jusante de um dispositivo diferencial.

Os esquemas TN-C e TN-S podem ser utilizados numa mesma instalação desde que o esquema TN-C esteja a montante do esquema TN-S (caso em que constituem o esquema TN-C-S). Na prática, este é o esquema de ligações à terra mais utilizado nas instalações onde for adotado o sistema TN dado que, em regra nestas instalações, os circuitos de distribuição (alimentação a quadros elétricos) têm condutores de secção não inferior a 10 mm², apresentando obviamente os circuitos finais secção inferior. A ligação das massas ao condutor neutro depende do esquema utilizado.

No esquema TN-C a ligação das massas ao condutor PEN deve ser feita em pontos facilmente acessíveis, os quais devem permitir fazer as medições de isolamento (nos termos da legislação em vigor). Por forma a evitar qualquer risco de interrupção do condutor PEN, este condutor deve ter uma secção suficiente, do ponto de vista da resistência mecânica, o que é garantido com as secções mínimas normalizadas definidas para este condutor (10 mm²). Realmente, a interrupção do condutor PEN poderia colocar as massas dos equipamentos ao valor da tensão fase-terra da instalação que, no caso de a instalação ser alimentada a 230/400 V, atinge valores incompatíveis com a segurança das pessoas, onde a tensão de contacto (U_c) atingiria aproximadamente o valor de 230 V.

No esquema TN-S, o condutor de proteção deve ser ligado ao condutor neutro na origem da instalação (normalmente, o “quadro de entrada” das instalações elétricas). Normalmente, no esquema TN, os circuitos finais são realizados segundo o esquema TN-S (pois apresentam secção inferior a 10 mm², se de cobre ou a 16 mm², se de alumínio).

Os cabos flexíveis utilizados como canalizações móveis devem ter um condutor de proteção distinto do condutor neutro, qualquer que seja o esquema (TN-C, TN-S ou TN-C-S) utilizado na instalação fixa que os alimenta.

Em qualquer um dos sistemas TN adotados na instalação, qualquer defeito de isolamento à terra resulta num curto-circuito fase-neutro. A figura 6 apresenta a malha de defeito num esquema TN-C.

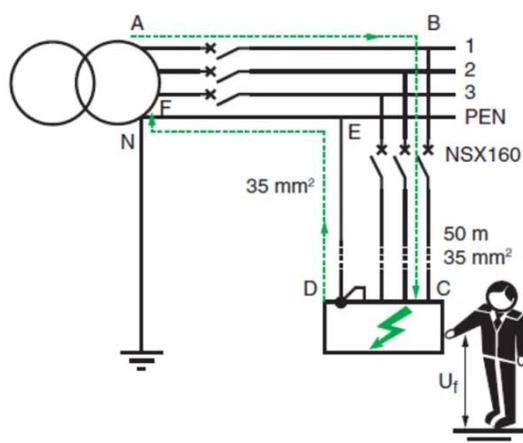


Figura 6: Malha de defeito no esquema TN
(cortesia schneider electric)

Como a corrente de curto-circuito toma valores muito elevados, o corte automático da alimentação pode ser garantido por dispositivos de proteção contra sobrentensões, ou dispositivos sensíveis à corrente diferencial residual, caso a corrente de defeito não seja suficientemente elevada.

A determinação das condições de proteção pode ser feita da seguinte maneira:

- Por cálculo, quando o condutor de proteção (PEN no esquema TN-C e PE no esquema TN-S) estiver, em toda a instalação, situado na proximidade imediata dos condutores ativos do circuito correspondente, sem interposição de elementos ferro magnéticos (situação mais usual);

- Por medição, no caso de não se verificarem as condições anteriores, onde é praticamente impossível determinar, por cálculo, a impedância da malha de defeito e apenas se pode conhecer o seu valor por recurso a medições após a execução da instalação.

Neste ELT um defeito de isolamento é similar a um curto-circuito fase neutro, e o corte deve ser assegurado pelo dispositivo de proteção contra curtos-circuitos, com um tempo máximo de corte especificado que é função da tensão limite convencional (UL) admissível para o local da instalação, ou seja, 25 V ou 50 V em corrente alternada, sendo o valor definido pela classificação do local quanto às influências externas. Segundo a norma IEC 60364-4-41 o tempo de corte do dispositivo de proteção deverá ser de 0,4 s para $U_L=50$ V e 0,2 s para $U_L=25$ V.

Para se ter a certeza de que a proteção está realmente ativa é necessário que, seja qual for o ponto de localização do defeito, a corrente de defeito I_d seja superior ao limiar do valor estipulado para o aparelho de proteção I_a ($I_d > I_a$). Esta condição deve ser verificada aquando da conceção da instalação, pelo cálculo das correntes de defeito e para todos os circuitos de distribuição. O facto dos condutores ativos e o condutor de proteção terem o mesmo percurso, facilita este cálculo.

Quando a impedância da fonte de alimentação e dos cabos tem um valor elevado, deve-se associar dispositivos de proteção diferencial aos dispositivos de proteção contra curtos-circuitos. A utilização dos dispositivos diferenciais tem a vantagem de tornar desnecessária a verificação da impedância da malha de defeito, vantagem que é interessante sobretudo quando a instalação é modificada ou aumentada. Evidentemente que esta solução não pode ser adotada no esquema TN-C, no qual o condutor de proteção está confundido com o condutor neutro.

Do exposto, quando no esquema TN for necessário recorrer à utilização de dispositivos diferenciais, não são recomendados dispositivos de sensibilidade elevada de corrente diferencial estipulada (30 mA ou 300 mA), pela eventualidade de disparos intempestivos, em regra, com graves consequências devido à quebra da continuidade de serviço nas instalações que utilizam

este esquema de ligação à terra. Nestas instalações recomenda-se dispositivos de baixa sensibilidade ($I_{\Delta n} > 1$ A) sem que, contudo, os valores da tensão de contacto ultrapassem a tensão limite convencional admissível para o local da instalação.

4. ESQUEMA DE LIGAÇÃO À TERRA: IT

Este esquema de ligação à terra (ELT) caracteriza-se por todas as partes ativas da instalação se apresentarem isoladas da terra, ou religadas através de uma impedância de valor suficientemente elevado, e as massas da instalação de utilização estarem diretamente ligadas à terra. A figura 7 apresenta o ELT em IT, em situações com e sem o neutro distribuído.

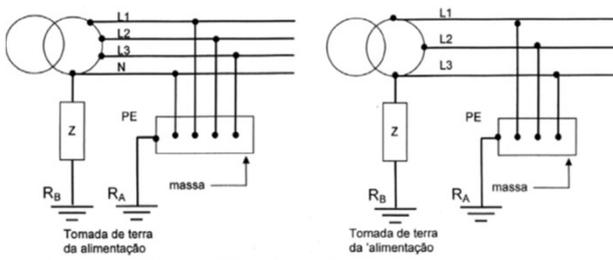


Figura 7: Esquema de Ligação à Terra IT, com e sem neutro distribuído.

Este ELT apresenta como principal vantagem a garantia de continuidade de serviço, em presença de um primeiro defeito de isolamento. Assim, há que eliminar todas as situações que possam contribuir para diminuir a fiabilidade do sistema. Em consequência, não se deve distribuir o condutor neutro, como se pretende demonstrar com o esquema representado na figura seguinte.

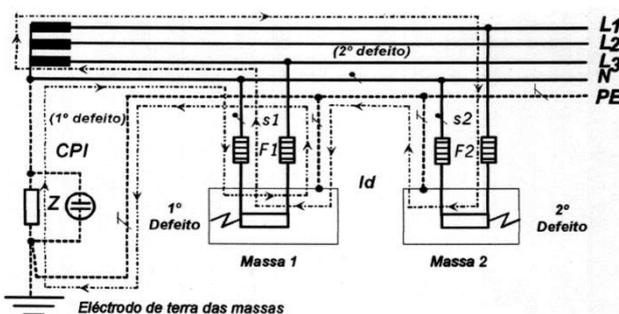


Figura 8: Esquema de Ligação à Terra IT, inconvenientes na distribuição do condutor neutro.

Na realidade, no esquema IT com o condutor neutro distribuído verificar-se-ia o seguinte:

- Se ocorresse um primeiro defeito na Massa 1, através do condutor neutro, não existiria corrente de defeito no circuito que originasse uma queda de tensão aos terminais da impedância Z, suscetível de fazer atuar o CPI (Controlador Permanente de Isolamento). Um primeiro defeito que envolvesse o condutor neutro poderia não ser visto pelo CPI. Este não o sinalizaria e quando aparecesse um segundo defeito que abrangesse um condutor de fase, por exemplo, na Massa 2 (curto-circuito L1 – PE – N), a sinalização seria transitória dado que, nessa situação e por a tensão de contacto poder assumir valores perigosos, o corte teria de ser “obrigatoriamente” feito, perdendo-se assim as vantagens do esquema IT.
- A necessidade de utilizar proteção contra sobreintensidades no condutor neutro (idêntica à utilizada para os condutores de fase, ainda que estes condutores tenham a mesma secção), pois se não houvesse proteção neste condutor e os condutores do circuito 1 tivessem secção muito inferior à dos condutores do circuito 2 ($s_1 \ll s_2$), quando se verificasse um defeito duplo (que envolvesse o condutor neutro de secção s_1 e o condutor de fase de secção s_2), a corrente seria interrompida pelo dispositivo de proteção F2 (dimensionado para a secção s_2), por certo de corrente estipulada bem superior à adequada à proteção de condutores de secção s_1 .

Quando ocorrer um único defeito e forem cumpridas todas as regras relativas ao esquema IT, o corte não é “obrigatório” dado que a corrente de defeito resultante é de reduzido valor, e a tensão de contacto será sempre inferior à tensão limite convencional especificada para o local da instalação. No entanto, no caso de ocorrer um segundo defeito sem o primeiro ter sido resolvido, devem ser tomadas as medidas adequadas por forma a evitar riscos de efeitos fisiopatológicos perigosos para as pessoas suscetíveis de ficar em contacto com partes condutoras simultaneamente acessíveis.

Apesar de na situação de primeiro defeito o corte não ser “obrigatório” nem desejável, deve ser pesquisada e solucionada a avaria antes que surja um segundo defeito, onde a corrente de defeito tomaria valores muito elevados e perigosos, sendo nesta situação o corte “obrigatório”. Neste caso interrompe-se alimentação de energia elétrica, o que poderá ter consequências graves (caso, por exemplo, das instalações dos blocos operatórios, nos “locais de uso médico”). A monitorização e sinalização da existência de um primeiro defeito na instalação é efetuada pela utilização de um dispositivo Controlador Permanente de Isolamento (CPI), que é obrigatório nas instalações que adotam este ELT.

A forma de eliminação de um segundo defeito depende do modo de ligação das massas à terra:

- Se todas as massas, incluindo as da fonte, estiverem ligadas a um mesmo eléctrodo de terra (situação corrente nas instalações em esquema IT). A proteção é garantida pelas mesmas condições indicadas para o esquema TN;
- Se as massas estiverem ligadas à terra, individualmente ou por grupos, o esquema da instalação (IT) transforma-se numa situação semelhante à do esquema TT. A proteção é então garantida pelas mesmas condições indicadas para o esquema TT.

Neste ELT a proteção das pessoas contra contactos indirectos é então garantida pela utilização dos seguintes dispositivos de vigilância e proteção:

- Controladores Permanentes de Isolamento (CPI). Estes dispositivos, embora destinados fundamentalmente à vigilância do primeiro defeito, poderão ser também utilizados como dispositivos de proteção, nas situações em que for necessário provocar o corte ao primeiro defeito;



Figura 9: CPI monitorização e sinalização de defeitos de isolamento à terra (cortesia schneider electric)

- Proteção contra sobreintensidades (disjuntores e fusíveis). Estes dispositivos são utilizados nas situações em que, ao segundo defeito, sejam-lhes aplicadas as condições de proteção definidas para o esquema TN;
- Dispositivos diferenciais. Estes dispositivos são utilizados nas situações em que, ao segundo defeito, sejam-lhes aplicadas as condições de proteção para o esquema TT. Os dispositivos diferenciais podem ser utilizados como medida de recurso, quando os dispositivos de proteção contra as sobreintensidades não garantem a proteção.

5. CONCLUSÕES

O Esquema das Ligações à Terra (ELT), ou regime de neutro, caracteriza:

- O modo de ligação à terra de um dos pontos da alimentação, em geral o neutro;
- O meio de colocação à terra das massas dos equipamentos de utilização.

A escolha do ELT condiciona as medidas de proteção de pessoas contra os contactos indirectos. Em critérios de segurança de pessoas, os três regimes de neutro são equivalentes se todas as regras da instalação forem respeitadas. São imperativos de continuidade de serviço e de condições de exploração que determinam a ou as escolhas dos ELT (ou regime de neutro).

Um defeito origina a circulação de uma corrente, que deve ser interrompida num tempo compatível com a segurança das pessoas.

A medida de proteção baseia-se no corte automático da alimentação na associação das seguintes condições:

- A realização ou a existência de um circuito designado por malha de defeito, que permita a circulação da corrente de defeito, dependendo a constituição desta malha do ELT (TT, TN ou IT)
- O corte da corrente de defeito seja efetuado por um dispositivo de proteção apropriado, num tempo que depende de parâmetros como a tensão de contacto e a classificação do local quanto às influências externas, associados ao conhecimento dos efeitos da corrente elétrica no corpo humano.

No que respeita à segurança, todos os ELT são equivalentes, desde que as regras não sejam descuradas. No entanto existem situações especiais:

- O caso dos blocos operatórios dos hospitais, onde é impensável um corte ao primeiro defeito. Neste caso o único esquema possível é o IT.
- Os centros de informática, em que as correntes de fuga são elevadas, o esquema recomendado é o TN.
- Instalações cujo comprimento das canalizações é desconhecido e locais com risco de explosão, o esquema TT será o mais adequado.

6. BIBLIOGRAFIA

"Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão" - (Decreto-Lei n.º 226/2005 de 28 de Dezembro).

"Instalações Elétricas de Baixa Tensão. A Concepção e o Projecto" – Aulas de IELBT, José Beleza Carvalho, ISEP.

“Esquemas de Ligação à Terra em BT (Regimes de Neutro)” Caderno Técnico nº 172 - Bernard Lacroix e Roland Calvas. Edição: Schneider Electric.

“Guia das Instalações Elétricas”: Edição: Schneider Electric, 2019.

Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Projeto, Execução e Exploração”. Constantino Soares. Edição CERTIEL.

"Instalações Elétricas Especiais" – Aulas de INELE, José Beleza Carvalho, ISEP.

www.neutroaterra.blogspot.com



Título: Instalações Elétricas de Baixa Tensão: Dimensionamento e Proteção de Canalizações Elétricas
2ª Edição

Autor: António Augusto Araújo Gomes, Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva, José António Beleza Carvalho

Editora: Engebook

Data de Edição: 2019

ISBN: 9789898927620

Nº Páginas: 202

Sinopse:

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, seleccionar 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.

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO
DIMENSIONAMENTO E PROTEÇÃO DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS

ENGEBOOK ELETROTECNIA

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, seleccionar 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 (pre-doutor) 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 1998. Coordenador de Obras na CEREBELUS – Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Sócio da empresa Neutro à Terra – Gabinete de Engenharia Ltda C252 e 2000. Prestação de serviços de formação e projetos técnicos assessoria em instalações em: âmbito das instalações elétricas, telecomunicações, segurança, gestão de energia, eficiência energética, a diversos entidades, nomeadamente NORVA – Consultores de Engenharia, Lda; Schmal – Engenharia e Serviços, Lda; ENERGO – Consultores de Engenharia, Lda; IQE – Instituto de Soluções e Qualidade Químicas – fábrica de Químicos Sintéticos, Lda; EP – Instituto Eletrotécnico Português; CENEFEEZ – Centro de Energia e Tecnologia; ANACOM – Autoridade Nacional das Telecomunicações; ICT – 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 (pre-doutor) em Engenharia Industrial pela Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

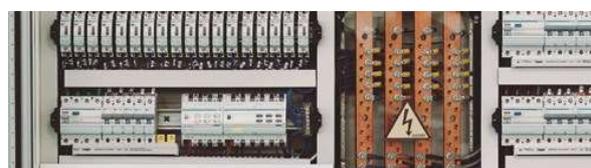
José António Beleza Carvalho

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 técnico-científica e integrada de artigos de papers, publicações de doutoramento e para a carreira do ensino superior.

Apoio à Edição
hager

Parceiro de Comunicação
electricista

Também disponível em formato e-book
ISBN 9789898927620
9789898927620
www.engebook.pt



CORE LOSS ESTIMATION UNDER SINUSOIDAL AND NON-SINUSOIDAL FLUX DENSITY WAVEFORMS: OVERVIEW AND CHALLENGES

1. Introduction

Nowadays, electrical machines design and control developments are much attached to simulation models. Accurate loss estimation methods are fundamental for improving efficiency, but also to achieve the desired operation conditions [1].

The development of non-sinusoidal flux density machines and conventional machines fed by power converters (e.g., switched reluctance motors, brushless DC machines, permanent magnet synchronous motors and induction motors with PWM voltages), has motivated researcher's efforts to reach a deeper characterization of magnetic losses under such excitation waveforms. This can be done either by measurement or estimation [2], [3]. New challenges arise, since sinusoidal-conventional methods are clearly insufficient. Moreover, different flux density waveforms are related to particular electric machines configurations, which suggests that specific approaches for characterizing core losses must be addressed, according to the machine type [3]. Usually, empirical models for core loss estimation are engineers first choice, due to its simplicity and faster processing. Parameter estimation is based on curve-fitting methods, validated by manufacturer iron sheet data, experimental results or through finite element modeling (FEM) [3], [4]. Accuracy is much sensitive to parameter values, so their estimation must be attached to specific conditions (e.g., flux density and frequency ranges). Moreover, the manufacturing process of the machine has also a deep impact on core losses, which is very difficult to address in the parameter estimation process [5], [6]. Cutting and punching operations have a relevant influence in the material properties, since they can create inhomogeneous stresses inside the lamination. This depends on the alloy composite, whereas the grain size seems to have the main impact [5].

Most often, lamination manufacturers provide core loss data under sinusoidal excitation in a limited frequency and flux density range, as depicted in Fig. 1.

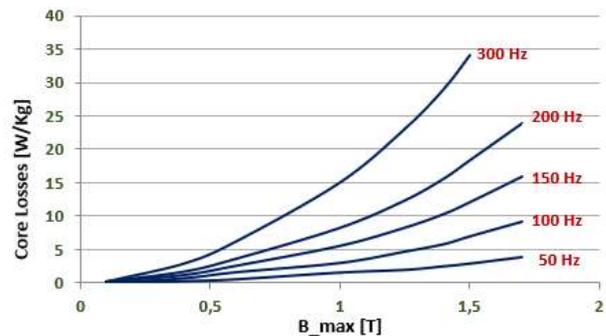


Fig. 1– Manufacturer core loss density (Lamination Steel: M35 (Fully Processed, thickness: 0,36 mm)) [7]

However, this might not be adequate for predicting losses in electrical machines with non-sinusoidal flux waveforms. Iron loss modelling is a very challenging task, since specific flux density waveforms may exist in different stator and rotor core sections. In addition, they depend on the motor design (e.g., geometry, number of stator and rotor poles, yoke size, number of phases), operating conditions and the type of control [8]. Core losses are more significant as speed increases, so for applications like hybrid and electric vehicles they must be carefully addressed.

This paper aims to give a general overview about magnetic lamination loss estimation methods (including some merits and demerits), which are the basis of most electrical machine's cores. The paper is organized as follows: Section 2 addresses core losses under conventional sinusoidal magnetic flux, where engineer approaches for loss estimation are discussed. Section 3 deals with losses under non-sinusoidal flux densities, particularly the main challenges that still exist and need to be overcome. Finally, the conclusions are in Section 4.

2. Core Loss Estimation with Sinusoidal Flux Densities

In the following, an overview on iron loss estimation is addressed, from an engineering perspective. The evolution of the most relevant methods, as well as their merits and limitations, is discussed.

Electrical machines core losses can be addressed by three different approaches (in time or frequency domain): empirical equations, loss separation components and hysteresis models. Only the first two are discussed here.

2.1. Empirical Models Based on Steinmetz Equation

The Steinmetz coefficients depend on both frequency and flux density [9], so in a waveform with relevant harmonics it might be difficult to find their values. Based on the results of many tests, the classical Steinmetz equation was the first attempt to calculate core loss [10]:

$$P_{core} = C_m f^\alpha B_{max}^\beta \quad (1)$$

Where B_{max} is the peak value of the flux density at the lamination, $f=1/T$ is the remagnetization frequency (T is the hysteretic cycle time interval), and coefficients C_m , α and β are estimated by fitting the loss model to the lamination manufacturer or measured data. It must be pointed that (1) assumes sinusoidal flux densities, with uniform distribution across the lamination thickness.. Over the years, several upgrades were performed, in order to account for non-sinusoidal waveforms.

The Modified Steinmetz Equation (MSE) is an improvement, aiming to calculate core loss under arbitrary B waveforms. The macroscopic remagnetization rate dM/dt (which is proportional to dB/dt) is directly related to the core losses, as a consequence of wall domain motion [11]. Eq. (1) is then replaced by:

$$P_{core} = (C_m f_{eq}^{\alpha-1} B_{max}^\beta) f \quad (2)$$

With:

$$f_{eq} = \frac{2}{\Delta B^2 \pi^2} \int_0^T \left(\frac{dB}{dt} \right)^2 dt \quad (3)$$

Where: $\Delta B = B_{max} - B_{min}$

The MSE has the advantage to highlight the physical origin of the losses, with the same parameters as in (1). A disadvantage of the MSE is that it underestimates losses for waveforms with a small fundamental frequency part. Another difficulty is the treatment of waveforms with multiple peaks, where peak-to-peak amplitude is not an enough description [11]. In fact, this reflects the increasing MSE limitations, as the flux density moves away from the pure sinusoidal waveform.

The Generalized Steinmetz Equation (GSE) in (4) was also developed from the original Steinmetz equation [11]. As with the previous one, losses are calculated in time domain. Here, the instantaneous iron loss is assumed to be a single-valued function of the rate dB/dt and $B(t)$. The inclusion of $B(t)$ allows to consider the DC-bias influence in the loss calculation, without additional measurements or curve-fitting functions.

$$P_{core} = \frac{1}{T} \int_0^T C_m \left| \frac{dB}{dt} \right|^\alpha |B(t)|^{\beta-\alpha} dt \quad (4)$$

For different frequency ranges, different parameter values are necessary. Thus, in the presence of relevant harmonics, the accuracy decays. This is an important drawback, particularly in the presence of minor loops. To overcome this limitation, in [12] the flux density waveform is split into a major loop and minor loop(s), in order to consider the later effect over loss calculation. Nonetheless, DC-bias influence is no longer included. This approach was named improved GSE (iGSE). In [13] is reported a test for loss calculation in nanocrystalline materials, with non-sinusoidal excitation voltage. Harmonic decomposition was considered, including the phase displacements. According to this reference, iGSE gives better results than GSE.

Both MSE and GSE are applied in time domain. It must be pointed out that the time evolution (history) of the flux density waveform is neglected. This has an impact on the physical phenomena insight, where loss evaluation may be affected.

2.2. Loss Separation Method

For a general scenario, the hysteresis loss density related to one cycle, in a particular core part, can be calculated by the following expression:

$$P_h = \frac{f}{m_v} \oint_{B_{min}}^{B_{max}} H dB \quad (5)$$

Where B and H are, respectively, the magnetic flux density and the magnetic flux strength, f is the cycle frequency and m_v is the density of the ferromagnetic material¹. The eddy current loss density is given by:

$$P_e = \frac{\sigma}{m_v} E^2 \quad (6)$$

Where E and σ are, respectively, the electric field and the material electric conductivity². However, in many situations, these equations are unpractical, even with finite element analysis. The complex non-linear B(H) characteristic, which is also dependent on the lamination thickness, is the main reason [14]. So, empirical models for core losses evaluation are often considered. The most common is the Steinmetz equation [10]: the following expression for core losses density in a ferromagnetic material (formulated as the sum of hysteresis (P_h) and classic eddy current (P_e) losses) was first achieved:

$$P_{core} = P_h + P_e = k_h f B_{max}^{1.6} + k_e f^2 B_{max}^2 \quad (7)$$

¹ For f [Hz] and m_v [kg/m³], then P_h [W/kg]

² For E [V/m] and σ [S/m], then P_e [W/kg]

Which is valid in the range of 0,1 T < B_{max} < 1,5 T. Hysteresis and eddy current loss coefficients are, respectively, k_h and k_e , which can be extracted from measured data. They both depend on the core material; k_e also depends on the lamination thickness (d). In fact, k_e has an analytical formulation, which can be derived from Maxwell equations, assuming a uniform magnetic field distribution. Therefore, Eq. (6) can be expressed as:

$$P_e = \frac{\sigma \pi^2 d^2}{6 m_v} f^2 B_{max}^2 \quad (8)$$

An important remark is that (5) also assumes uniform flux density distribution across the lamination thickness. Over the years, the original Steinmetz expression was upgraded, which brought higher accuracy. Experimental data showed that the measured eddy current losses are higher than P_e . Based on statistical loss theory, Bertotti proposed an additional term to account for the excess losses (P_{ex}), which can be expressed as [15]:

$$P_{ex} = k_{ex} (f \cdot B_{max})^{\frac{3}{2}} \quad (9)$$

Where k_{ex} is dependent on the material micro-structure, the conductivity, and the cross-sectional area of the lamination. Different theories have been developed to explain excess losses, but this is still under discussion [14].

For the hysteresis term, the power of B_{max} was found later to be dependent on the material type, as well on B_{max} . Therefore, a more accurate expression was adopted for core loss estimation, with a modified hysteresis term (k_h , a and b are its parameters) and including the excess losses:

$$P_{core} = P_h + P_e + P_{ex} = k_h f B_{max}^{a+b \cdot B_{max}} + k_e (f \cdot B_{max})^2 + k_{ex} (f \cdot B_{max})^{\frac{3}{2}} \quad (10)$$

Further experiments, together with finite element analysis, revealed that it predicts core losses with very good accuracy for $f \leq 1500$ Hz and $B_{max} < 1$ T. For higher flux densities, it gives good results for frequencies up to 400 Hz [14].

3. Core Loss Under Non-Sinusoidal Flux Densities

As stated before, (10) is suited for sinusoidal flux density waveforms. Moreover, the hysteresis term is limited to symmetrically flux density variations about zero (i.e., $-B_{\max} < B < B_{\max}$) and, most important, without minor loops included in the main hysteresis loop [16]. Eq. (10) is then mostly suited for sinusoidal flux density waveforms, with uniform distributions in the core. Parameter estimation for empirical formulas under non-sinusoidal flux losses must be based on measured core loss values. Manufacturers data for sinusoidal flux may lead to large errors for non-sinusoidal core losses estimation. In order to consider non-sinusoidal waveforms, the product (f·B) is substituted by $\left(\frac{dB}{dt}\right)$ in these two terms, leading to (11):

$$P_{core} = k_h f B_{max}^{a+b} + k_e \int_0^T \left(\frac{dB}{dt}\right)^2 dt + k_{ex} \int_0^T \left(\frac{dB}{dt}\right)^3 dt \quad (11)$$

Where $T=1/f$.

It is important to highlight that most loss models assume uniform magnetic field distribution across the core lamination. However, the influence of skin effect and saturation over eddy current and hysteresis losses cannot be disregarded, in particular for high frequency operation. This leads to non-uniform field densities, which brings additional challenges for core loss modelling.

3.1. Eddy current, Hysteresis and Rotational Flux Losses

In this subsection, a brief discussion about the impact of non-uniform field density over eddy current and hysteresis losses is addressed. In addition, a short reference to rotational flux losses is included.

3.1.1. Eddy Current Loss

The skin effect in the magnetic core is due to the field created by eddy currents: for high frequencies, particularly for thick lamination core, eddy current density at the lamination surface is higher than 1n the center, as shown in Fig. 2.

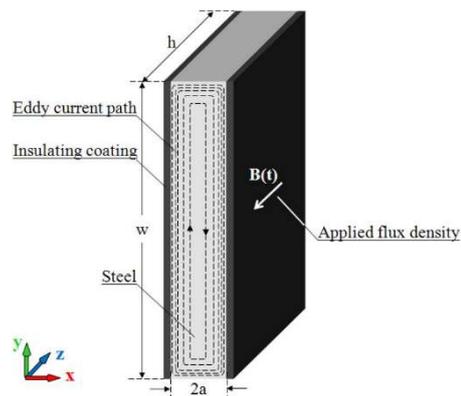


Fig. 2– Eddy current distribution in a magnetic lamination of thickness $d=2a$, due to skin effect [17]

The skin-depth penetration is the distance from the lamination surface where eddy current density has decreased by a factor of $1/e$, and it is approximately given by:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (12)$$

Where f is the excitation frequency, μ the magnetic permeability and σ is the material electric conductivity.

Flux penetration in the lamination depends on the skin-depth penetration (δ) and the lamination thickness (d). For high frequencies, particularly if $\delta \ll d$, the magnetic density field has a non-uniform distribution and it is mainly concentrated on the lamination surface (Fig. 3).

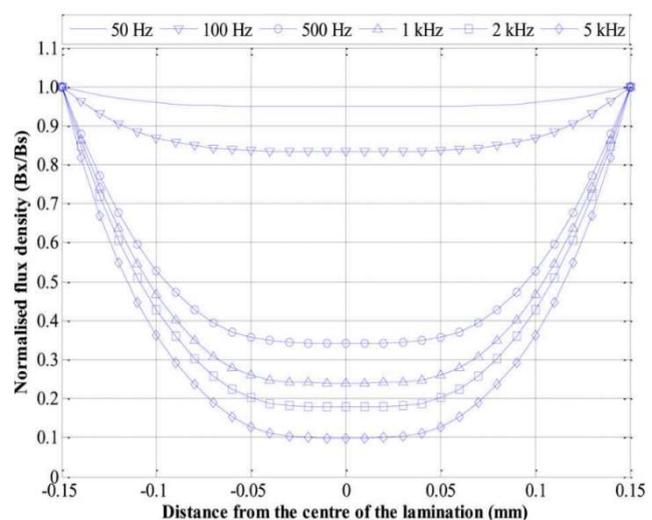


Fig. 3– Normalized magnetic flux density penetration into the magnetic lamination of thickness $d=0.3$ mm [17]

Moreover, their center and surface waveforms are also displaced [3], [14] Eddy current paths have now a higher resistance, meaning that its value and the correspondent losses are smaller, when compared to uniform field densities scenarios. Naturally, this is not foreseen by the previous expressions, which give excessive values. Several models to calculate eddy current loss in electrical machine laminations for non-uniform field density have been proposed [14]. A common approach for a periodic non-sinusoidal flux density waveform is to consider its Fourier series decomposition. The contribution of each harmonic component is calculated based on its frequency and magnitude, through Steinmetz expression. Frequency is particularly relevant, since it determines the skin effect magnitude of the individual harmonics. However, one must not forget that such an approach is based on the superposition principle. This way, its effectiveness must be always confronted with experimental loss values.

3.1.2. Hysteresis Loss

Depending on the machine geometry and operating conditions (in particular, high frequencies, local saturation and skin effect), the peak flux density may be very different in several parts of the lamination [3]. This causes local hysteresis loops, i.e., minor loops, in addition to the major loop (Fig. 4).

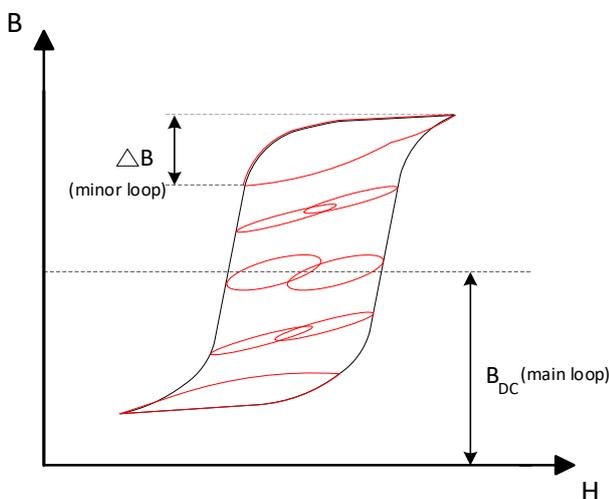


Fig. 4– Hysteresis loops (major in black, minors in red)

As a consequence, several points inside the lamination have different local hysteresis losses [3], [16], which may lead to core hot-spots. It should be noted that a relevant harmonic content in the flux density waveform reflects a significant number of minor loops. Moreover, these additional losses may represent an important proportion of the total hysteresis loss, which highlights the importance of modelling them [18].

A most relevant conclusion in this reference is that minor loop positions inside the main cycle (i.e., the DC flux density value associated to the minor loop) have a significant influence in the hysteresis losses. It should be noted that none of this is considered in the first term of (11).

Based on experimental studies, minor loop hysteresis loss evaluation has been frequently addressed through empirical formulas [3], [4] (in [4] is considered the Fourier series harmonic decomposition). However, one must be aware that the effectiveness of this approach is attached to certain simplifications and/or to specific flux waveforms.

This highlights the fact that for every kind of electrical machine, under specific operation conditions, a particular formula should be addressed. This suggests that a lot of work still has to be done, in order to get accurate methods to estimate hysteresis minor loop losses [3].

3.1.3. Rotational Flux Loss

Rotational flux densities (due to changes in the flux density vector direction, relatively to a given reference frame) may have important contributions for the total core losses in electrical machines.

Taking a Switched Reluctance Machine (SRM) as an example (Fig. 5), such rotational flux density variations are well pronounced around the stator and rotor tooth, due to changes in their relative position.

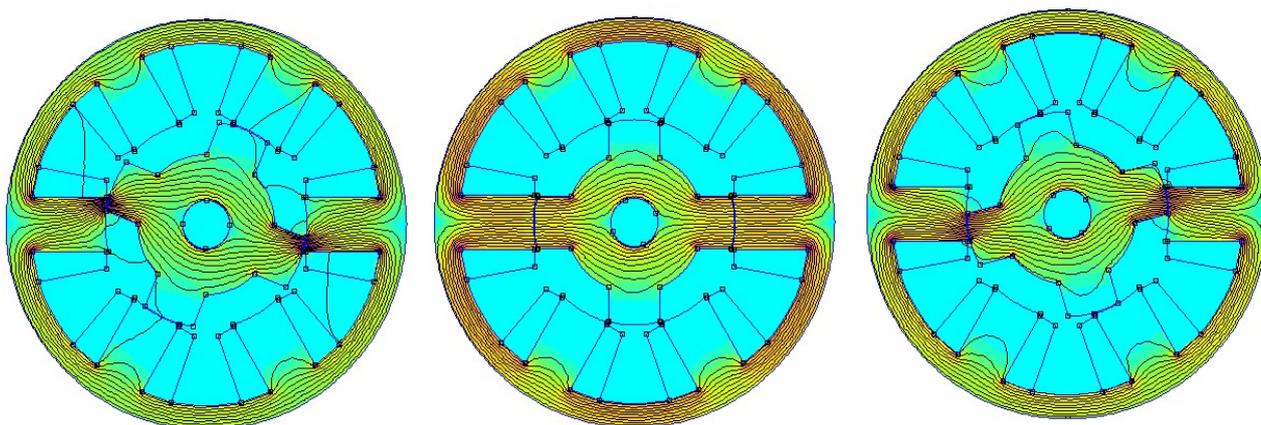


Fig. 5– SRM (6-4 pole) magnetic field distribution, for three rotor positions

Predicting rotational flux losses is much more complex than alternating flux, where the magnetic axis is fixed in space. Moreover, measuring them is quite complex, since precisely controlled rotational flux density waveforms are difficult to induce in test samples [16].

Some models have been proposed for estimating iron loss under rotational conditions but are based on sinusoidal flux densities. Usually, the flux density vector is decoupled into two orthogonal components, for a given machine region. For each component, losses are independently calculated and then added [19].

Once again, this approach relies on the superposition principle. Due to hysteresis high non-linearity, it seems reasonable to question the effectiveness of such approach.

4. Conclusions

Currently, electrical machines (EM) design and control developments are much dependent on simulation models, where FEM has a fundamental role. New losses estimation methods, in particular for core loss, are crucial to develop EM models with higher accuracy.

Traditionally, EM core loss estimation has been supported by empirical models for sinusoidal waveforms. However, this is not suitable for non-sinusoidal flux density machines and conventional machines fed by power converters, since flux density waveforms are no longer sinusoidal. Moreover, complex magnetic phenomena must be addressed, which are not considered in most empirical models.

In the last decades, considerable efforts have been addressing these issues. Nonetheless, further improvements are needed for a precise determination of the flux waveforms and correct calculation of iron loss at non-sinusoidal excitation and non-uniform flux distribution, which is a hard task.

This paper discusses some of the main challenges that must be tackled. These are open research fields, there is still a lot of work to be done.

Final Remark: this paper is based on the published work in [20].

References

1. Torkaman, H., et al., A comprehensive power loss evaluation for Switched Reluctance Motor in presence of rotor asymmetry rotation: Theory, numerical analysis and experiments. *Energy Conversion and Management*, 2014. 77: p. 773-783.
2. Bui, M.D. and U. Schäfer. Core losses measurement technique for high frequency and flux density of switched reluctance machines. in *Electrical Machines (ICEM), 2012 XXth International Conference on*. 2012. IEEE.
3. Ibrahim, M. and P. Pillay, Core loss prediction in electrical machine laminations considering skin effect and minor hysteresis loops. *Industry Applications, IEEE Transactions on*, 2013. 49(5): p. 2061-2068.
4. Parsapour, A., B.M. Dehkordi, and M. Moallem, Predicting core losses and efficiency of SRM in continuous current mode of operation using improved analytical technique. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2015. 378: p. 118-127.
5. Krings, A., et al. Measurement and modeling of iron losses in electrical machines. in *5th International Conference Magnetism and Metallurgy WMM'12, June 20th to 22nd, 2012, Ghent, Belgium*. 2012. Gent University.
6. El-Kharahi, E., et al., Toward including the effect of manufacturing processes in the pre-estimated losses of the switched reluctance motor. *Ain Shams Engineering Journal*, 2015. 6(1): p. 121-131.
7. Proto Laminations' Inc. Available from: <http://www.protolam.com>.
8. Torrent, M., et al., Method for estimating core losses in switched reluctance motors. *European Transactions on Electrical Power*, 2011. 21(1): p. 757-771.
9. Ionel, D.M., et al., On the variation with flux and frequency of the core loss coefficients in electrical machines. *Industry Applications, IEEE Transactions on*, 2006. 42(3): p. 658-667.
10. Steinmetz, C., On the Law of Hysteresis. *American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the*, 1892. 9(1): p. 1-64.
11. Li, J., T. Abdallah, and C.R. Sullivan. Improved calculation of core loss with nonsinusoidal waveforms. in *Industry Applications Conference, 2001. Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE*. 2001. IEEE.
12. Venkatachalam, K., et al. Accurate prediction of ferrite core loss with nonsinusoidal waveforms using only Steinmetz parameters. in *IEEE Workshop on Computers in Power Electronics*. 2002.
13. Aguglia, D. and M. Neuhaus. Laminated magnetic materials losses analysis under non-sinusoidal flux waveforms in power electronics systems. in *Power Electronics and Applications (EPE), 2013 15th European Conference on*. 2013. IEEE.
14. Zhang, Y., et al., Magnetic characteristics and core losses in machine laminations: High-frequency loss prediction from low-frequency measurements. *Industry Applications, IEEE Transactions on*, 2012. 48(2): p. 623-629.
15. Bertotti, G., *Hysteresis in magnetism: for physicists, materials scientists, and engineers*. 1998: Academic press.
16. Calverley, S.D., G.W. Jewell, and R.J. Saunders, Prediction and measurement of core losses in a high-speed switched-reluctance machine. *IEEE transactions on magnetics*, 2005. 41(11): p. 4288-4298.
17. Hamzehbahmani, H., et al., Eddy current loss estimation of edge burr-affected magnetic laminations based on equivalent electrical network—Part I: Fundamental concepts and FEM modeling. *IEEE transactions on power delivery*, 2013. 29(2): p. 642-650.
18. Simão, C., et al. Simplified models for magnetic hysteresis losses evaluation in electromagnetic devices. in *Electric Machines and Drives Conference, 2009. IEMDC'09. IEEE International*. 2009. IEEE.
19. Hernandez-Aramburo, C.A., T.C. Green, and A.C. Smith, Estimating rotational iron losses in an induction machine. *Magnetics, IEEE Transactions on*, 2003. 39(6): p. 3527-3533.
20. Melo, P.S. and R.E. Araújo, Switched Reluctance Motor Modeling and Loss Estimation Review, in *Modelling and Control of Switched Reluctance Machines*. 2020, IntechOpen.

Título: Instalações Elétricas de Média Tensão – Postos de Transformação e Seccionamento
Autor: António Augusto Araújo Gomes, José António Beleza Carvalho
Editora: Publindústria
Data de Edição: 2017
ISBN: 9789897232541
Nº Páginas: 195
Encadernação: Capa mole

Sinopse:

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 projeto, execução e exploração de postos de transformação e seccionamento aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação na qual sejam intervenientes, maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como reduzir os custos de execução e exploração das instalações.

António Augusto Araújo Gomes
 José António Beleza Carvalho

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE MÉDIA TENSÃO
POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO E SECCIONAMENTO

Sobre o livro

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 projeto, execução e exploração de postos de transformação e seccionamento aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação na qual sejam intervenientes, maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como reduzir 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 (em Habilitação 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 Cursos na CEIBER/US – Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Sócio da empresa Neutro à Terra – Gabinete de Engenharia Lda (2000 a 2006). Prestação de serviços de formação e/ou projeto e/ou assessoria e/ou consultoria no âmbito das instalações elétricas, interconexões, segurança, gestão de energia, eletrónica/energética, a diversas entidades, nomeadamente NERFAM – Consultores de Engenharia, SA, Schurnal – Engenharia e Serviços, Lda, ENERDO – Consultores de Engenharia, Lda, EQ – Instituto de Segurança e Qualidade, Quaternos – Indústria de Químicos Elétricos, SA, EP – Instituto Eletrotécnico Português, CENBITEC – Centro de Energia e Tecnologia/ANACOM – Autoridade Nacional das Telecomunicações, IIT – Instituto para o Desenvolvimento Tecnológico, IEM – Agência de Energia Entre Douro e Vouga.

José António Beleza Carvalho

Bacharel 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 as funções de Diretor do Departamento. Integra a direção da Escola Tecnológica de Vale de Camba como representante do Instituto Politécnico do Porto. É autor de vários artigos publicados em conferências nacionais e internacionais, diretor da revista Neutro à Terra e integrou vários juries de provas públicas de doutoramento e para a carreira do ensino superior.



DE OLHOS POSTOS NO FUTURO: DO *MILD HYBRID* AO *FUEL CELL*

Caminhamos todos os dias para uma mobilidade mais sustentável. No entanto, a realidade é que sempre que falamos em carros ecológicos, pensamos logo em veículos 100 por cento elétricos. Mas não é só deste tipo de tecnologia que são feitos os veículos, seja do presente ou do futuro, “mais amigos” do ambiente. Na realidade, estamos rodeados de opções eletrificadas sustentáveis, desenvolvidas com o objetivo de potenciar a eficiência energética dos veículos, procurando simultaneamente reduzir as emissões dos gases nocivos para os seres humanos e dos gases que contribuem para o agravamento do efeito de estufa, em alguns casos, para zero.

De soluções totalmente elétricas, a combinações de motores elétricos e a combustão; de carregamento em movimento, a carregamentos ligados à rede elétrica. A realidade é diversa e existem várias tecnologias ecológicas. Todas as soluções contribuem para o objetivo de reduzir as emissões de gases. Cada um delas com o seu objetivo específico.

Começamos pelos híbridos: sempre ouvimos dizer dois é melhor que um, não é verdade? Pois bem, estes veículos reúnem dois tipos de motor, um a combustão e pelo menos um motor elétrico, que trabalham em conjunto para atingir uma maior performance. Desta forma, é possível reduzir o consumo de combustível e, conseqüentemente, as emissões de gases de escape. Para carregar, não podia ser mais simples: o sistema de travagem regenerativa fá-lo “automaticamente”, uma vez que permite a recolha ativa de energia para o recarregamento da bateria.

Mas existem “variações” de híbridos, cuja complexidade de eletrificação evolui numa relação oposta com as emissões de gases. No topo da hierarquia das motorizações híbridas estão os plug-in que permitem ter autonomia 100 por cento elétrica durante percursos relativamente longos (>25km).

Falamos dos híbridos plug-in, veículos cujas principais diferenças para um híbrido convencional são a maior capacidade da bateria e o carregamento através de uma fonte de alimentação externa. Assim, tendo a bateria carregada, o automóvel “transforma-se” num carro elétrico. Quando a bateria esta se esgota, o veículo transforma-se num *full hybrid* e vai alternando entre o funcionamento do motor elétrico, do motor a combustão ou ambos.

Uma outra tecnologia “híbrida”, talvez menos conhecida, é a tecnologia *mild hybrid*. Esta opção resulta da combinação de um motor de combustão a diesel com um motor/gerador elétrico que carrega uma bateria de 48 V, possibilitando que, quando o veículo está parado ou se desloca a baixas velocidades, o motor a combustão se desligue para que o gerador assista no arranque e aceleração. Desta forma, é possível reduzir o esforço do motor “convencional”, reduzindo desta forma o consumo de combustível e as emissões de gases de escape.

Tendo em conta todas as opções existentes, adoção de um veículo híbrido possa ser uma solução apelativa, do ponto de vista de transição para um automóvel mais sustentável, dado que combinação de diferentes tecnologias e as diferentes autonomias permitem ir ao encontro das necessidades de um público mais alargado. Contudo, bem sabemos que a opção tida como mais sustentável atualmente é a dos veículos elétricos, já que não dependem de nenhum combustível fóssil e podem ser carregados em qualquer tomada, garantido zero emissões de matérias poluentes.

Recorrendo a uma tecnologia extremamente desenvolvida, os veículos elétricos já garantem grandes níveis de autonomia, sendo, em alguns casos, possível percorrer com um único carregamento mais de 600 km.

Por oposição, uma das tecnologias menos adotadas, não estando ainda disponível em Portugal, é a tecnologia fuel cell. Esta tecnologia combina o oxigénio com o hidrogénio, que entrando “em contacto” são capazes de gerar a energia necessária para alimentar o motor elétrico, permitindo, em alguns casos, uma autonomia de mais de 650 km. As emissões de gases poluentes são 0 e a única matéria que sai do tudo de escape é vapor de água.

Se do ponto de vista funcional, as vantagens não podiam ser melhores, do ponto de vista do investimento financeiro, também. Efetivamente, os carros ecológicos têm menores consumos (por exemplo, para percorrer 100 km um carro elétrico pode custar menos de 3 euros, enquanto que num

automóvel a gasolina e gasóleo o investimento seria, no mínimo de 10 e 7 euros, respetivamente). No que toca à carga fiscal, os automóveis 100% elétricos possuem vantagens fiscais significativas, especialmente para as empresas.

Caminhamos assim para soluções cada vez mais desenvolvidas e eficientes, tendo sempre em vista o objetivo de emitirem menos gases de efeito estufa, contribuindo para um futuro mais sustentável no qual uma das premissas será a mobilidade limpa. Para isso, a realidade do presente e do futuro deverá ser a adoção de veículos cada vez mais ecológicos. Mas será que uma solução irá responder a todas as utilizações e à necessidade de todos os clientes?

Republicação de artigo: www.dinheirovivo.pt, 3 de março de 2020

DIVULGAÇÃO

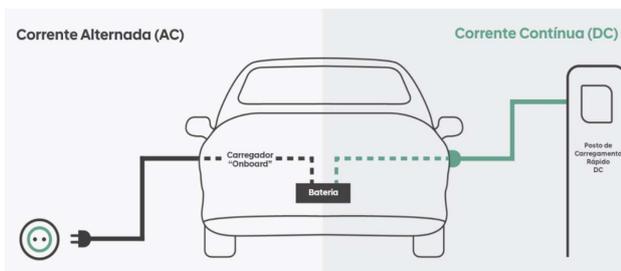


BATERIAS: A “ALMA” DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NÃO PARA DE SOMAR VANTAGENS

Existem cada vez menos desculpas para não aderir às novas soluções de mobilidade, em particular aos veículos elétricos movidos a bateria. Considerada a “alma” das viaturas movidas a eletricidade, as baterias modernas apresentam hoje uma capacidade reforçada e uma vida útil cada vez mais longa, capaz de influenciar todos os sistemas integrados no automóvel.

À semelhança das baterias dos smartphones, “moderação” é a palavra-chave. Cabe, por isso, ao utilizador zelar pela preservação do ciclo de vida da bateria incorporada no seu veículo elétrico, predominando, sempre que possível, uma lógica de privilégio de carregamentos lentos, em detrimento das cargas rápidas. Concebidas para milhares de ciclos de carga/descarga, as baterias dos veículos elétricos oferecem, em regra, uma garantia de oito anos. Contudo, através de uma cuidada utilização é possível prolongar a duração estimada deste componente até aos 10 anos de vida útil.

Atualmente, as baterias apresentam autonomias elevadas (400km), quando comparadas com os primeiros modelos. Para esta evolução muito contribui o progressivo desenvolvimento destes aparelhos, cuja potência é medida em kWh. No entanto, cuidados simples como, por exemplo, evitar a exposição do veículo a temperaturas extremas, principalmente muito elevadas, poderão traduzir-se num aumento do ciclo de vida das baterias elétricas.



Durante a condução, a boa gestão da bateria passa pelo aproveitamento das descidas, tirando partido do sistema de travagem regenerativa para gerar energia; da ativação do modo de condução económica; da verificação da pressão dos pneus; moderação da velocidade e acelerações suaves; e de uma utilização otimizada do ar condicionado, que pode ser ligado enquanto o veículo ainda se encontra em carregamento.

A boa gestão da bateria de um veículo elétrico também passa, ato contínuo, pela sua recarga. Desde a utilização dos postos públicos até ao carregamento realizado em casa, são várias as soluções apresentadas em território nacional. Tirando proveito da cada vez mais ampla rede Mobi.e – requer um contrato prévio celebrado com um operador do ponto de carregamento – entre outras plataformas, os utilizadores de veículos elétricos podem optar por diferentes tipologias de recarga, tendo em conta utilização diária dos seus automóveis. Entre os postos rápidos, que convertem corrente alternada em corrente contínua, semirrápidos e normais, é ampla a oferta disponível em viagem. No regresso a casa, sugere-se a aquisição de uma *Wallbox*, pequeno posto de carregamento doméstico, capaz de encurtar em várias horas o carregamento do seu veículo.

Existem, por isso, cada vez mais vantagens associadas à adesão aos veículos elétricos. Ao longo dos últimos anos, o desenvolvimento das baterias, entre outras peças-chave dos automóveis movidos a eletricidade, tem sido veloz, resultando, inclusivamente, numa diminuição das inúmeras hesitações que estes veículos geravam com os primeiros modelos que surgiram no mercado. Hoje é impossível ignorar os sinais e o futuro parece estar traçado. Caso adira à mobilidade elétrica recorde-se que deve sempre fazer-se acompanhar pelos cabos e conectores compatíveis com o seu automóvel, para que nunca fique pelo caminho!

Título: Instalações Elétricas de Baixa Tensão - Aparelhagem de Proteção, Comando e Seccionamento
Autor: António Augusto Araújo Gomes, Sérgio Filipe Carvalho Ramos, André Fernando Ribeiro de Sá
Editora: Publindústria
Data de Edição: Engebook
ISBN: 9789898927187
Nº Páginas: 226
Encadernação: Capa mole

Sinopse:

A obra Instalações Elétricas de Baixa Tensão - Aparelhagem de Proteção, Comando e Seccionamento 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, tecnológicos, normativos e regulamentares sobre a aparelhagem de proteção, comando e seccionamento de baixa tensão, aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação na qual sejam intervenientes, maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como reduzir os custos de execução e exploração das instalações.



INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

APARELHAGEM DE PROTEÇÃO, COMANDO E SECCIONAMENTO

ENGEBOOK **ELETROTECHNIA**

António Gomes
Sérgio Ramos
André Sá



ABORDAGEM NA REMODELAÇÃO E AUMENTO DE CAPACIDADE DE LINHAS AÉREAS DE MUITO ALTA TENSÃO

A necessidade de otimização das instalações existentes torna-se uma prioridade antes de ponderar a construção de novas linhas aéreas.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as empresas de transporte de energia estão a ser confrontadas com algumas dificuldades operacionais. Primeiro, a maior parte da sua infraestrutura de rede foi contruída nos anos 70, com tal, algumas redes estão em funcionamento há cerca de 50 anos. Segundo, essas instalações foram projetadas para um ciclo de vida económica e de engenharia de 50 anos, por isso, no presente requerem uma extensão do seu funcionamento, para conseguirem assegurar a devida qualidade do serviço.

Face à atual pressão para a descarbonização com metas temporais apertadas, torna-se necessário aumentar a capacidade de transporte de energia das infraestruturas existentes. Por outro lado, há dificuldades para a construção de novas linhas aéreas devido ao impacto visual, restrições ambientais e o estabelecimento de servidões.

Deste modo, a necessidade de otimização das instalações existentes torna-se uma prioridade antes de ponderar a construção de novas linhas aéreas.

Este artigo técnico procura transmitir uma abordagem para estabelecer uma metodologia na Remodelação e Aumento de Capacidade de Linhas Aéreas de Muita Alta Tensão (MAT) com o objetivo de colmatar as necessidades apresentadas.

2. ENQUADRAMENTO

O aumento de capacidade e uma linha de transporte de energia está normalmente relacionado com soluções de aumento de corrente e de tensão.

Está sempre presente o esforço para quantificar a relação custo-benefício associada a cada solução tecnológica.

As soluções relacionadas com a mudança de tensão acabam por se tornar sempre mais dispendiosas e de difícil execução dada a necessidade de mudanças de fundo na parte estrutural dos apoios da linha MAT para acomodar as distâncias fase-terra necessárias e, por vezes, praticamente impossível de solucionar. Sendo assim, a abordagem mais comum passa pelo aumento da capacidade de transmissão através do aumento da intensidade de corrente na linha.

Antes de se considerar a construção de uma nova linha, existem duas abordagens a ponderar, que apresentam custos de investimentos reduzidos e menores impactos ambientais e visuais:

- Aumento do nível da temperatura de operação dos condutores existentes;
- Aumento da capacidade através da substituição dos condutores existentes.

As próximas três secções subsequentes deste artigo descrevem procedimentos de avaliação para as condições de instalação. A secção 3 apresenta uma sequência de como avaliar a condição dos elementos das linhas MAT a ter em consideração na remodelação da instalação para o aumento de capacidade. A secção 4 demonstra como a viabilidade do aumento da temperatura de operação dos cabos condutores existentes está limitado pelas distâncias mínimas regulamentares a cumprir. A secção 5 descreve várias opções para substituir os condutores existentes por outros com capacidades superiores, tendo em conta o cumprimento das distâncias regulamentares e sem sobrecarregar os outros componentes estruturais da linha de MAT. Segue-se um exemplo de aplicação na secção 6 e, por fim, as Conclusões na secção 7.

3. AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DA INSTALAÇÃO PARA O AUMENTO DE CAPACIDADE

3.1. Condição dos componentes da instalação

Para podermos efetuar uma correta avaliação dos componentes da instalação, é necessário ter as respostas para o seguinte questionário preliminar:

- Qual o estado atual da instalação, o tempo restante de vida do equipamento?
- O condutor atual tem condições para operar a uma temperatura mais elevada?
- Existe alguma fragilidade no equipamento da linha que poderá entrar em stress dado o aumento da temperatura do cabo condutor? (exemplo pinças de compressão, uniões, etc.)
- As distâncias regulamentares podem ser alcançadas sem colocar novas trações nos condutores?

Para responder as estas questões, devem ser realizados testes aos componentes da linha aérea existente por amostragem e em locais estratégicos, a determinar em cada caso específico.

Alguns dos testes mais comuns para determinar os estados da instalação seguem-se nos próximos pontos.

3.2. Condutores e Acessórios de Fixação

Inspeção visual – Esta técnica é a primeira abordagem a realizar por equipas de inspeção ou utilizando *drones* com recolha fotográfica dos elementos da instalação, ver Fig.1:



Figura 1. Inspeção com drone

Termografia – Por recurso a voo de ronda aérea serão medidos os eventuais pontos quentes, durante a operação da Linhas MAT, de acordo com a Fig.2. Identificados aqueles pontos quentes, analisar razões e estimar tempo de vida restante para definir estratégia de substituição;

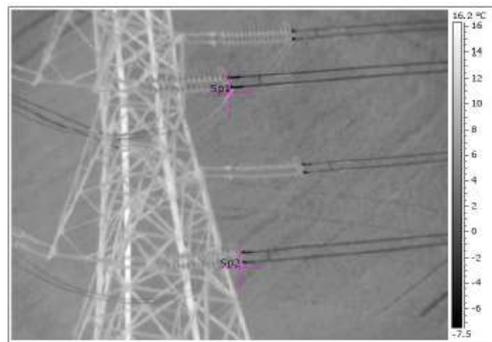


Figura 2. Pontos quentes detetados na Termografia

Cormon Test – Teste para determinar o nível de corrosão interna dos condutores, através de colocação de um aparelho nos condutores que percorre uma amostra dos vãos da linha e retira dados do nível de corrosão, Fig.3:



2013/05/01 9:16 AM
TrolleyHead: 1061/0110
XT3 KINTORE-TEALING
From: 425.S To: 426.T
Circuit:
Conductor: LYNX
Age of Line: 1972
EARTH
Greasing: NOT KNOWN
Operator: APL
Order of Trolleys: FORWARD
Telemetry Errors: 55
Data Density Out: 92.2%

ESTIMATED CORROSION
LOSS OF ZINC:

None	44.8%
Possible	39.7%
Partial	9.2%
Severe	6.1%
Aluminium loss	0%
Suspect data	0.2%

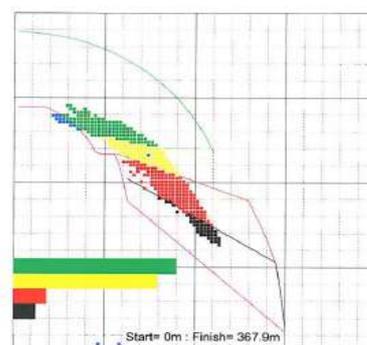


Figura 3. Aparelho e relatório com % de corrosão da amostra

Testes laboratoriais – Recolha de amostras do condutor e realização de testes de capacidade mecânica e do estado da massa protetora do condutor para operar a temperaturas mais elevadas, com estimacão do tempo restante de vida do condutor, ver Fig. 4:



Figura 4. Análise do estado das diferentes camadas dos condutor e teste de temperatura da massa

3.3. Estruturas metálicas

Trata-se duma inspeção visual dos apoios metálicos, com subida da estrutura metálica por recursos humanos especializados ou com recurso a *drones* para determinar nível de corrosão. Pode registrar-se eventual perda de resistência dos elementos metálicos e é necessário definir medidas de mitigação, por exemplo, por substituição de elementos metálicos e parafusos ou pintura dos apoios com nível de tratamento adequado. Alguns exemplos são apresentados na Fig.5:

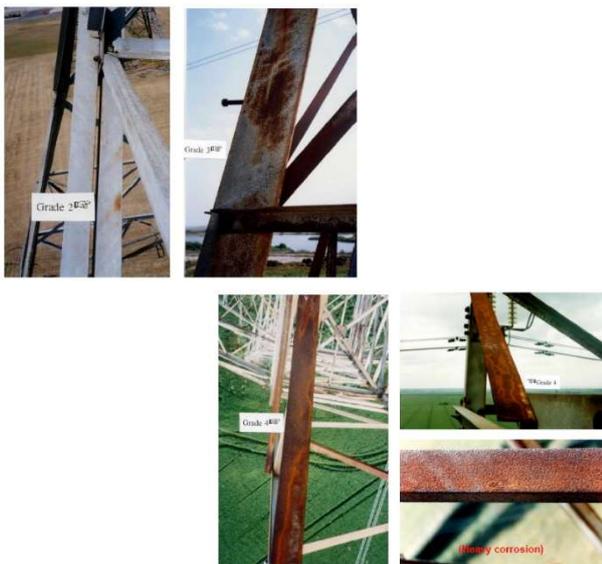


Figura 5. Avaliação dos diferentes níveis de corrosão

3.4. Fundações

Os testes a fundações dividem-se em dois tipos, testes não intrusivos e testes intrusivos, estes últimos requerem trabalhos de escavação e exposição da fundação para recolha de amostras:

- Inspeção visual da parte exterior da fundação para verificação de sinais exteriores de deterioração (não intrusivo);
- *Transient Dynamic Response* (TDR) – Permite a recolha de dados com aparelho sobre a integridade e profundidade da fundação (não intrusivo), Fig.6;
- *Linear Polarisation Resistance* (LPR) – Avalia o nível de corrosão das pernas metálicas embebidas na fundação (não intrusivo);
- Recolha de Amostras do Solo para verificar as condições de resistência do mesmo e o nível freático (intrusivo);
- Recolha de provetes de betão do pilar da fundação para determinação da resistência do betão (intrusivo), Fig. 7:



Figura 6. Avaliação da integridade da fundação com TD



Figura 7. Recolha de provetes através de teste intrusivo

A avaliação satisfatória dos vários elementos da linha MAT da condição da instalação, onde é estimado um período de vida para utilização/extensão da operação da linha, viabilizará as fases seguintes da abordagem.

4. AUMENTO DA CAPACIDADE POR AUMENTO DA TEMPERATURA DE OPERAÇÃO

Com a determinação do estado do condutor existente para operar a uma temperatura superior sem a sua deterioração, inicia-se a análise das catenárias dos vãos da linha. A operação a uma temperatura superior implica a verificação dos locais críticos onde o aumento das flechas poderá originar infrações das distâncias regulamentares. É essencial nesta fase ter os dados "As-Built" da instalação, para se ter as condições de regulação e fixação dos condutores na fase da sua construção. A falta destes elementos poderão originar a necessidade de recolha no local dos dados topográficos onde a linha está implantada e as suas catenárias.

Este tipo de verificação pode ser realizado através de softwares especializados para projetos de linhas elétrica aéreas. Um exemplo é o software PLS CADD® (*Power Line Systems Inc.*) que é utilizado internacionalmente pelas principais empresas da área. Após a criação do modelo em análise, o software permite criar cenários e verificar a viabilidade da linha aérea em operar a temperaturas superiores, Fig. 8. Nesta análise são tiradas conclusões sobre as eventuais infrações em relação as distâncias regulamentares ao solo ou obstáculos (pontos críticos).

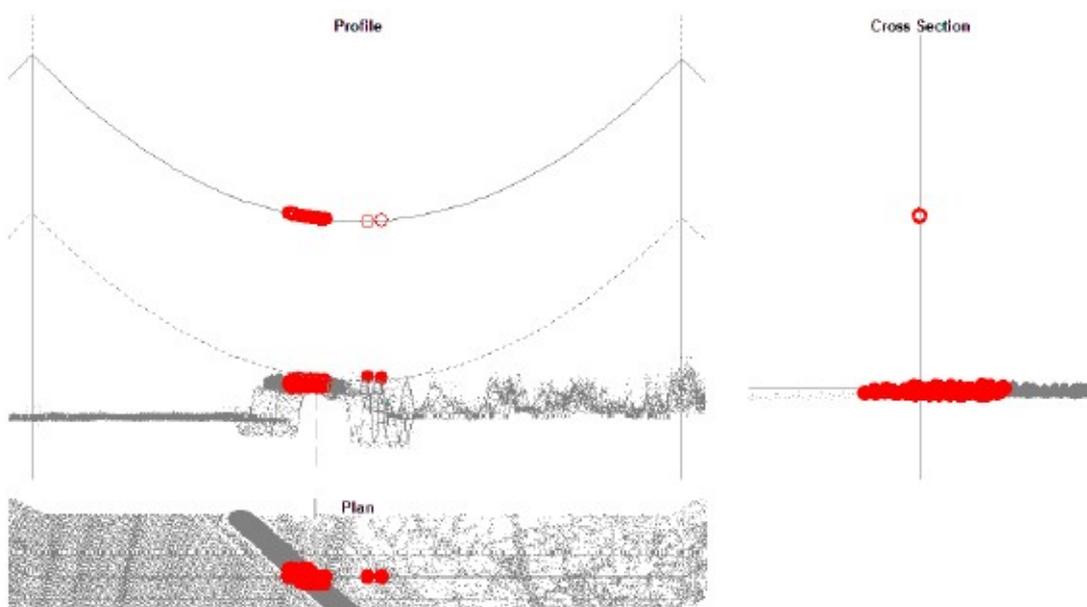


Figura 8. Exemplo de resultado PLS CADD de infração na distância à estrada

Identificados os pontos críticos, são definidas medidas de mitigação que poderão ser:

- Troca de cadeias de isoladores com dimensões inferiores às existentes, mas com um nível compatível de isolamento (ex. isoladores compósitos);
- Aumento das trações dos condutores a um ponto em que retire a infração em análise, mas que não ultrapasse a capacidade dos outros elementos da linha (ex. acessórios, apoios, fundações);
- Aumento das alturas dos apoios existentes por introdução de módulos intermédios;
- Substituição de Apoios existentes por outros apoios mais elevados para mitigar as distâncias em infração.



Figura 9. Colocação de módulo prismático com 6m em apoio existente

O nível de aumento de capacidade requerida, assim com a quantidade de modificações necessárias à eliminação dos pontos críticos definirá a viabilidade desta abordagem ou se será necessária passar para a próxima fase.

5. AUMENTO DA CAPACIDADE POR SUBSTITUIÇÃO DE CONDUTORES

Quando os condutores existentes não permitem o aumento da capacidade para fazer face às necessidades, a abordagem de substituição de condutores é a opção mais indicada. Nos últimos anos têm sido desenvolvidos cabos condutores compósitos que melhoram os rácios de força, peso e elasticidade, possibilitando uma maior operação dos condutores a temperaturas mais elevadas aumentando assim a amperagem, mas com reduzidas flechas. Estes tipos de condutores são designados por *High Temperature Low Sag* (HTLS).

Os cabos condutores mais usuais utilizados em Portugal são os ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*). Estes condutores foram projetados no passado para uma temperatura máxima de operação de 50°C, mais recentemente a 75°C (Decreto Regulamentar n.º 1/92 artigo 22.º, 1 c e EN 50341-3-17:2001, artigo 5 PT.1), sendo que atualmente as concessionárias dimensionam as linhas MAT para ser operadas a uma temperatura de 85°C em condições de regime permanente. Existem, no entanto, outras opções que melhoram significativamente os rácios atrás referidos quando comparados com os condutores convencionais ACSR. São exemplos, mas não restritos, os seguintes:

- *All Aluminium Alloy Conductor* (AAAC), podem ser operados até 90°C
- *Aluminium Conductor Composite Core* (ACCC), considerados HTLS, podem ser operados até 180°C
- *Aluminium Conductor Composite Reinforced* (ACCR), considerados HTLS, podem ser operados até 210°C

Quando a necessidade de aumento de capacidade não for muito elevada, é possível que seja mais vantajoso substituir

os condutores existentes por novos condutores com tecnologia mais estabelecida que os HTLS, por exemplo os AAAC, proporcionado outro conforto/confiança na operação/manutenção. Esses novos condutores podem ser de diâmetros iguais ou maiores dos condutores existentes, no entanto o aumento de diâmetro do condutor, implicará o aumento de forças transmitidas aos apoios o que levará à necessidade de reforçar as estruturas metálicas e as fundações. Ainda que este último cenário se torne mais dispendioso, poderá ser mais vantajoso do que a construção de uma nova linha MAT. A comparação das várias opções pode ser realizada também através do software PLS CADD atrás referido.

6. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

As linhas MAT da Rede Nacional de Transporte (RNT) utilizam na sua maioria cabos condutores ACSR Zebra em linhas de 150kV e 220kV e cabos ACSR Zambeze nas linhas de 400kV. Há cerca de 15 anos, a Redes Energéticas Nacionais (REN), concessionária da RNT em Portugal, realizou um programa de *Uprating*, principalmente nas linhas de 220kV, no sentido de operar as mesmas, com os mesmos condutores, a temperaturas superiores, aumentando assim a capacidade de transporte. No entanto, a maioria das linhas existente em Portugal tem condutores que estão a chegar ao fim do ciclo de vida, tornando-se a sua substituição uma prioridade.

Em seguida é exemplificado uma análise de opções possíveis de substituição dos condutores existentes ACSR na RNT, por outros com características dimensionais equivalentes, para não impactar na capacidade estrutural dos postes e fundações, para os níveis de tensão 220kV e 400kV. Os resultados são apresentados na Tabelas que se apresentam:

Tabela 1. Características dimensionais e mecânicas de condutores compatíveis com a tensão 220kV

Tipo Conductor	Nome Conductor	Diâm. (mm)	Peso (daN/m)	C. Rutura (daN)	Área Alum. (mm ²)
ACSR	Zebra	28.62	1.6	12849	428.9
AAAC	Totara	28.98	1.402	14000	498.1
ACCC	Hamburg	28.62	1.595	16090	546.4
ACCR	Drake	28.60	1.357	14323	418

Tabela 2. Características elétricas e cálculo da capacidade térmica e flechas de condutores compatíveis com a tensão 220kV

Tipo Conductor	Nome Conductor	Resistência CC a 20°C (Ohm/Km)	Max. Temp Operação (°C)	Capac. Máx. Temp. (A)	Capac. Máx. Temp. (MVA)	Flecha Máx. Temp. (m)
ACSR	Zebra	0.0674	75	894	341	14.39
			85	998	380	14.75
AAAC	Totara	0.0638	90	1090	415	13.85
ACCC	Hamburg	0.0514	180	1860	709	11.29
ACCR	Drake	0.0659	210	1780	678	13.05

Tabela 3. Características dimensionais e mecânicas de condutores compatíveis com a tensão 400kV

Tipo Conductor	Nome Conductor	Diâm. (mm)	Peso (daN/m)	C. Rutura (daN)	Área Alum. (mm ²)
ACSR	Zambeze	31.80	1.764	11967	565.4
AAAC	Rubus	31.50	1.589	16400	586.9
ACCC	Prague	31.78	1.990	16910	690.7
ACCR	Curlew	31.70	1.655	15836	525

Tabela 4. Características elétricas e cálculo da capacidade térmica e flechas de condutores compatíveis com a tensão 400kV

Tipo Conductor	Nome Conductor	Resistência CC a 20°C (Ohm/Km)	Max. Temp. Operação (°C)	Capac. Máx. Temp. (A)	Capac. Máx. Temp. (MVA)	Flecha Máx. Temp. (m)
ACSR	Zambeze	0.0511	75	1054	730	17.18
			85	1178	816	17.53
AAAC	Rubus	0.0542	90	1209	838	13.06
ACCC	Prague	0.0407	180	2154	1492	13.73
ACCR	Curlew	0.0534	210	2044	1416	14.06

Para cálculo mecânico de flechas, os condutores foram regulados com uma tensão igual a 20% da carga de rutura no estado *Every Day Tension* (EDS) a 15 °C, para um vão equivalente de 400 m.

Para cálculo da capacidade térmica dos condutores foi considerado a equação de *Kuipers-Brown*, adotando a temperatura ambiente de Verão 30°C:

$$C \cdot St \cdot \frac{dT}{dt} = I^2 \cdot R_f + \alpha \cdot R \cdot d - 8.55 \cdot (T - T_A) \cdot (v \cdot d)^{0.448} - E \cdot \sigma \cdot \pi \cdot d \cdot (T^4 - T_A^4)$$

α	Coefficiente da absorção solar = 0,5	E	Poder emissivo em relação ao corpo negro = 0,6
R	Radiação solar = 1000 W/m ²	σ	Constante de Stefan = 5,7x10 ⁻⁸ W/(m ² K ⁴)
v	Velocidade do vento = 0,6 m/s		

Os resultados apresentados demonstram que se poderá obter ganhos na capacidade na transmissão de:

- 12% quando aumentando a temperatura de operação de 75°C para 85°C do condutor ACSR existente;
- 22% (220kV) e 15% (400kV), quando substituindo ACSR para AAAC;

- 108% (220kV) e 104% (400kV), quando substituindo ACSR para ACCC;
- 99% (220kV) e 94% (400kV), quando substituindo ACSR para ACCR, com diâmetros e pesos lineares equivalentes ao condutor existente, evitando assim o reforço estrutural das barras metálicas de apoios ou reforço de fundações.

Por outro lado, embora a temperatura de operação máxima das opções seja superior à do condutor existente, as flechas apresentadas são significativamente inferiores, respeitando assim as distâncias regulamentares. Com certeza que estas opções de condutores tecnologicamente mais evoluídos apresentam um custo de fornecimento superior, que poderá chegar até cinco vezes mais dispendioso quando comparado com o tradicional ACSR, pelo que estudos de viabilidade financeira se impõem, no entanto será sempre mais económico que a construção de uma linha nova de MAT. Em casos particulares, poderá ser vantajoso o aumento de diâmetro/secção para aumentar a capacidade e por sua vez o estudo do reforço estrutural dos outros elementos estruturais das linhas.

7. CONCLUSÕES

A remodelação e aumento de capacidade das linhas aéreas de MAT torna-se imperativo na gestão das instalações existentes, quer por estarem a chegar ao fim do ciclo técnico económico de vida, quer pela dificuldade existente na construção de novas linhas de MAT. A avaliação do estado da condição da linha MAT é fundamental, pois depende desta a viabilidade da remodelação e consequente aumento da capacidade. Existem opções para o aumento de capacidade, sendo a mais viável pelo aumento da amperagem, quer por acréscimo da temperatura de operação dos condutores existentes ou pela substituição por outros com tecnologia mais evoluída.

ESTUDO DE ALTERAÇÃO DE UM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DE UMA UNIDADE HOSPITALAR: AVALIAÇÃO ECONÓMICA

Resumo

Sendo a climatização um dos grandes consumidores de energia nos edifícios, a eficiência energética associada a uma utilização racional e otimização de recursos e equipamentos poderá resultar numa diminuição significativa do consumo de energia. Com este trabalho pretende-se, assim, descrever como melhorar a eficiência energética, em cumprimento com os normativos legais em vigor, de uma unidade, dedicada a climatização, existente a nível hospitalar. Para uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA), que serve uma sala de bloco operatório de uma unidade hospitalar foram propostas duas alternativas de modernização: aquisição de um novo equipamento ou modificações no equipamento existente, com a incorporação de inversores de frequência em cada um dos ventiladores e de um sensor de CO₂. Dentro dessas alternativas, foi calculada a viabilidade económica, através do Payback simples, tendo em conta três modelos de funcionamento: modo contínuo, a 100%; 12 horas à potência nominal e 12 horas a 70%; e 12 horas à potência nominal e 12 horas a 50%. As alternativas de funcionamento com modificações no equipamento existente foram as que se demonstraram com melhor viabilidade económica, sendo que todas são energeticamente mais eficientes do que a UTA atual.

Palavras-chave - Climatização, Especificações Técnicas 06/2008, Unidades de Tratamento de Ar, Payback

I. INTRODUÇÃO

A entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 78/2006 - Sistema de Certificação Energética, Decreto-Lei n.º 79/2006 - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios e Decreto-Lei n.º 80/2006 - Regulamento das

Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, juntamente com os novos requisitos devidos aos avanços tecnológicos verificados nas áreas dos sistemas energéticos, climatização e comportamento térmico dos edifícios, impôs a necessidade de atualização do documento “Tipificação das Instalações de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC)”, elaborado em 2005. Daqui, resultou, então, em 2008, uma nova publicação intitulada “Especificações técnicas para Instalações de AVAC” – ET 06/2008 [1]. Devem, assim, ser previstos, ao nível das instalações e equipamentos mecânicos, centrais térmicas e zonas térmicas e aquecimento, ventilação e ar condicionado [1]. Está, também, estipulado que os sistemas de ar condicionado devem basear-se no recurso a unidades de condicionamento de ar com características e tipos descritos neste referencial, sendo que todas as unidades de tratamento de ar (UTA), de tratamento de ar novo, ventiloconvetores e unidades de indução devem estar preparadas para ligação ao sistema de gestão técnica centralizada [1]. As UTA de blocos operatórios devem ser dotadas de inversores de frequência, garantindo caudal nominal e ter certificado de construção higiénica [1].

Por forma a atingir as metas de redução de emissões de CO₂ do Protocolo de Quioto, a União Europeia (UE) adotou, em 2009 a Diretiva de Produtos relacionados à Energia (ErP), que é frequentemente chamada apenas Diretiva de *Ecodesign* [2]. Esta Diretiva é obrigatória para todos os estados membros da UE, afetando fabricantes de produtos de ventilação e ar condicionado. Abrange produtos que são produzidos no Espaço Económico Europeu, assim como os importados de outros países. Produtos para exportação para fora da UE não estão abrangidos pela diretiva [2].

No que diz respeito, especificamente às UTA, estas devem, desde 1 de janeiro de 2016, seguir a Diretiva EU *Ecodesign* 1253/2014, que se refere aos novos requisitos de eficiência energética que estes equipamentos devem cumprir [2].

Assim sendo, devem ser cumpridos os seguintes requisitos: Todos os ventiladores devem funcionar com variação de velocidade (mínimo três velocidades + *off*). O controlo pode ser externo; Todas as unidades bidirecionais têm de ser equipadas com recuperação de energia; Todos os sistemas de recuperação devem ser equipados com *by-pass* térmico [2].

Adicionalmente, os motores dos módulos de ventilação das UTA devem cumprir os requisitos de eficiência energética da “*International Electrotechnical Commission*”, especificamente a normativa IEC 60034-30-1. Esta foi publicada a 6 de março de 2014 e pretende harmonizar, globalmente, as classes de eficiência energética de motores elétricos. Assim, existem quatro classes definidas, descritas a um nível crescente de eficiência energética: Eficiência Standard (IE1); Eficiência Alta (IE2); Eficiência “Premium” (IE3); Eficiência “*Super-Premium*” (IE4) [3].

Desde 1 de janeiro de 2015 só os motores assíncronos, com uma classe de eficiência igual ou superior a IE2 (potências até e incluindo 5,5 Kw), ou IE3 (potências superiores a 7,5Kw) podem ser comercializados no Espaço Europeu. A utilização de motores IE2 para potências superiores a 7,5 Kw é permitida, desde que a velocidade do motor seja controlada, usando, para tal, por exemplo, um variador de frequência [2].

II. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O equipamento a ser alvo de estudo neste trabalho é uma UTA, localizada numa área técnica do segundo piso de um edifício hospitalar, sendo responsável pela climatização de uma sala de operação do bloco operatório central (localizada o primeiro piso do edifício). A UTA tem a sua montagem do tipo sobreposta, ligação a 4 tubos, sendo a ventilação assegurada por dois ventiladores acoplados a dois motores elétricos, trifásicos, por meio de correias. O motor elétrico, que está localizado no módulo de ventilação de insuflação, tem a potência nominal de 2.2 KW. O motor elétrico, que está localizado no módulo de ventilação de extração, tem a potência nominal de 0.37 KW.

O equipamento está montado e em funcionamento desde 1997. Tendo em conta que a vida média deste tipo de equipamentos ronda os 25 anos, torna-se necessário ponderar a sua substituição por outra UTA, nova, ou, enquanto o equipamento instalado ainda se apresenta funcional, efetuar apenas algumas modificações por forma a torná-lo energeticamente mais eficiente e em cumprimento com a regulamentação em vigor.

No caso de se optar efetuar algumas modificações na unidade, estas poderiam passar por fazer o controlo da ventilação, com a aplicação de inversores de frequência, quer no ventilador de insuflação quer no ventilador de extração. Estes dispositivos são usados para controlar a velocidade de um motor de indução. Sendo os motores de indução de corrente alternada de velocidade constante, pode-se reduzir o consumo energético variando a velocidade do motor, em resposta às necessidades do processo [4]. Também poder-se-iam empregar sensores de CO₂, que garantem a qualidade de ar interior e a sua renovação.

III. RESULTADOS

Antes de se poderem calcular as poupanças (energética e económica) com a implementação destas modificações na unidade, é necessário, primeiramente, efetuar os cálculos dos custos anuais da utilização dos dois motores da UTA.

Calculando a potência absorvida para estes motores trifásicos [5], e considerando um funcionamento contínuo (24h/dia, 7 dias/semana, 52 semanas/ano), calcula-se o valor da energia consumida (E).

Assim e para o motor de 2,2 kW o valor de E é de 24076,42 kWh e para o de 0,37 kW é de 4385,47 kWh.

Em relação aos custos anuais de utilização (CE), tem de se ter em conta o preço médio do kWh. Assumindo o valor consultado no documento Energia em Números, 2020 [6], referente ao ano de 2019 e conforme (1):

$$C_E = E \times \text{preço médio kWh} \quad (1)$$

Tendo uma vez mais, primeiramente, em conta o motor de 2,2 kW, o valor de CE é de 3392,31 € e para o motor de 0,37 kW 617,91 €.

O relatório final da avaliação nacional dos blocos operatórios refere o estabelecimento, como padrão, para cálculo de produtividade por parte do Serviço Integrado de Gestão de Inscritos para Cirurgia, do tempo standard para o funcionamento das salas de bloco operatório: 12h diárias, 5 dias úteis por semana durante 48 semanas por ano [7]. Na tabela 1 estão apresentados os valores de E e CE, recalculados, com base neste funcionamento.

TABELA 1 ENERGIA CONSUMIDA E CUSTOS ANUAIS DE UTILIZAÇÃO PARA O REGIME DE FUNCIONAMENTO PROPOSTO		
Regime de Funcionamento	Parâmetro	Valor
12h diárias, 5 dias úteis por semana durante 48 semanas por ano	E motor 2,2 kW	7937,28 kWh
	E motor 0,37 kW	1445,76 kWh
	CE motor 2,2 kW	1 118,36 €
	CE motor 0,37 kW	203,71 €
E= energia; CE= custo anual de utilização; CE evitado= custo de utilização anual evitado; kW= kiloWhatt; kWh= kiloWhatt.hora; €= euro		

Verifica-se, assim uma redução, expectável, nos parâmetros apresentados. Com esta alteração horária os custos anuais de utilização evitados, ao final de um ano seria resultado da diferença entre CE dos dois motores, conforme (2):

$$C_{E\text{evitado}} = (CE_{2,2kW\text{atual}} - CE_{2,2kW\text{reduzido}}) + (CE_{0,37kW\text{atual}} - CE_{0,37kW\text{reduzido}}) \quad (2)$$

Esta alteração de funcionamento horário representa uma poupança anual de 2688,21 €. Nesta situação, apenas seria necessária uma regulação horária de funcionamento da UTA, através da gestão técnica centralizada. Tendo em atenção o estipulado pelos serviços técnicos do hospital, de que a UTA deverá estar em funcionamento em regime contínuo, torna-se interessante verificar a rentabilidade da aplicação de inversores de frequência e sensor de CO2. Foram selecionados dois cenários de funcionamento: funcionamento de 12 horas à potência nominal e 12 horas a

70%; funcionamento de 12 horas à potência nominal e 12 horas a 50%. Na tabela 2 estão apresentados os valores de E, CE e CEevitado para os dois cenários de funcionamento.

Tendo como base pesquisa de mercado em fornecedores nacionais, teve-se em conta um investimento (em dois inversores de frequência e um sensor de CO2) de 860 € (com IVA incluído, à taxa de 23%).

De referir que, nos cálculos de viabilidade económica não foram tidos em conta custos de instalação, programação e manutenção (que ficariam sob a responsabilidade de uma empresa com contrato de manutenção dos equipamentos de AVAC).

O *Payback* do investimento feito é obtido por (3), descrita em [8]:

$$\text{Payback simples} = \frac{IC_0}{CF_1} \quad (3)$$

Sendo,

IC0– valor do capital investido

CF1 – fluxo monetário alcançado como resultado da implementação de medidas de poupança energética

TABELA 2 ENERGIA CONSUMIDA, CUSTOS ANUAIS DE UTILIZAÇÃO E CUSTOS DE UTILIZAÇÃO ANUAIS EVITADOS PARA OS DOIS REGIMES DE FUNCIONAMENTO PROPOSTOS		
Regime de Funcionamento	Parâmetro	Valor
12h a potência nominal + 12h a 70%	E motor 2,2 kW	20464,95 kWh
	E motor 0,37 kW	3727,65 kWh
	CE motor 2,2 kW	2883,51 €
	CE motor 0,37 kW	525,23 €
	CE evitado	601,54 €
12h a potência nominal + 12h a 50%	E motor 2,2 kW	18057,31 kWh
	E motor 0,37 kW	3289,10 kWh
	CE motor 2,2 kW	2 544,28 €
	CE motor 0,37 kW	463,43 €
	CE evitado	1 002,57 €
E= energia; CE= custo anual de utilização; CE evitado= custo de utilização anual evitado; kW= kiloWhatt; kWh= kiloWhatt.hora; €= euro		

Tendo, então, em conta os cenários apresentados, o Payback para o regime de 12 horas a potência nominal com uma redução para 70% nas restantes 12 horas será de 17,16 meses. Por sua vez, para o regime com uma redução para 50% (12 horas a 50%, com as restantes a potência nominal), será de 10,29 meses.

Qualquer um dos cenários apresentados, em termos de alteração de funcionamento, tendo em conta o baixo tempo de retorno do investimento, seriam opções que poderiam ser tidas em conta para a UTA em questão. Atendendo a que a unidade hospitalar possui 10 UTA para salas operatórias do bloco central, poderia existir uma maximização da poupança introduzindo estes equipamentos (com qualquer um dos cenários de funcionamento apresentados) em todas as UTA. No caso de se optar pela instalação de uma UTA nova esta deve, para além de estar em conformidade com a ET 06/2008, deverá cumprir a Diretiva EU *Ecodesign* 1253/2014 e ter classificação de eficiência energética de acordo com a norma IEC 60034-30-1. Vários fatores devem ser tidos em conta, aquando da seleção de um novo equipamento, para além dos cumprimentos legais e que podem estar relacionados com questões de orçamento, disponibilidade do equipamento no período de tempo pretendido, garantia e manutenção, por exemplo. Assim sendo, o equipamento descrito abaixo é meramente exemplificativo. A UTA nova apresentada é da mesma marca da que está instalada atualmente. As principais melhorias, neste equipamento, centram-se no sistema de filtragem (ar de insuflação com dupla filtragem – F5 e F9 e ar de extração com filtragem F5) e no sistema de ventilação (com a utilização de ventiladores EC). O custo estimado deste aparelho é de 18000,00 € (com IVA incluído, à taxa de 23%). Também nesta situação, para calcular as poupanças (energética e económica) é necessário, primeiramente, efetuar os cálculos dos custos anuais da utilização dos dois motores da UTA. Tendo em conta que o valor P_{abs} , nos dois motores, já é fornecido, é, então, possível calcular E, CE e $CE_{evitado}$, conforme (1), (2) e (3). Também nas condições de funcionamento atuais, considerando um fator de carga de 100% (tabela 3). De referir que, para esta UTA, o motor de insuflação é de 2,5 kW e o de extração é de 0,5 kW.

Regime de Funcionamento	Parâmetro	Valor
Funcionamento contínuo	E motor 2,5 kW	13016,64 kWh
	E motor 0,5 kW	2620,80 kWh
	C_E motor 2,5 kW	1 834,04 €
	C_E motor 0,5 kW	369,27 €

E= energia; C_E = custo anual de utilização; $C_{E\ evitado}$ = custo de utilização anual evitado; kW= kiloWhatt; kWh= kiloWhatt.hora; €= euro

Calculando o *Payback*, conforme (3), a poupança anual, com a aquisição desta UTA e no cenário proposto é de 1806,97 €. Tal como seria espectável, a aquisição de um novo sistema implica um investimento inicial superior, logo, o *Payback* também é superior, comparativamente com todos os cenários anteriores. Importa aqui, referir que, apesar disso, o investimento é recuperado ao fim de 119,53 meses, ou seja, 9,96 anos.

Empregando o sensor de CO₂, pode, também, considerar-se cenários de redução de carga nos ventiladores. Assumindo os mesmos cenários (funcionamento de 12 horas à potência nominal e 12 horas a 70% e funcionamento de 12 horas à potência nominal e 12 horas a 50%), torna-se pertinente efetuar a avaliação económica do investimento. Na tabela 4 estão apresentados os valores de E, CE e $CE_{evitado}$ para os dois cenários de funcionamento.

Calculando novamente o *Payback*, conforme (3), para os cenários alternativos apresentados, podemos referir que para o regime de 12 horas a potência nominal com uma redução para 70% nas restantes 12 horas será de 101,05 meses. Por sua vez, para o regime com uma redução para 50% (12 horas a 50%, com as restantes a potência nominal), será de 91,61 meses.

Tendo em conta o tempo médio estimado de vida de uma UTA qualquer um dos cenários de funcionamento apresentados demonstram que o investimento seria viável. De realçar o último cenário, em que o equipamento estaria pago num terço da vida útil da unidade.

TABELA 4 ENERGIA CONSUMIDA, CUSTOS ANUAIS DE UTILIZAÇÃO E CUSTOS DE UTILIZAÇÃO ANUAIS EVITADOS PARA OS DOIS REGIMES DE FUNCIONAMENTO PROPOSTOS, COM UMA NOVA UNIDADE TRATAMENTO DE AR		
Regime de Funcionamento	Parâmetro	Valor
12h a potência nominal + 12h a 70%	E motor 2,5 kW	11064,14 kWh
	E motor 0,5 kW	2227,68 kWh
	C _E motor 2,5 kW	1 558,94 €
	C _E motor 0,5 kW	313,88 €
	C _E evitado	2 137,46 €
12h a potência nominal + 12h a 50%	E motor 2,5 kW	9762,48 kWh
	E motor 0,5 kW	1965,60 kWh
	C _E motor 2,5 kW	1 375,53 €
	C _E motor 0,5 kW	276,95 €
	C _E evitado	2 357,80 €

E= energia; C_E= custo anual de utilização; C_E evitado= custo de utilização anual evitado; kW= kilowatt; kWh= kilowatt.hora; €= euro

IV. CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho foi possível verificar que, efetuando pequenos investimentos, como a aquisição de inversores de frequência e sensores de CO₂, em unidades de custo de aquisição avultado, como é uma UTA, se pode aumentar a eficiência energética e, ao mesmo tempo, reduzir a fatura energética, num curto prazo.

A aquisição de uma unidade nova (que é, por si, energeticamente mais eficiente do que uma antiga), apesar de representar um investimento elevado pode ter um retorno, dependendo do tipo de funcionamento que ela tenha, num período de tempo não muito longo.

Em termos de trabalho futuro, seria importante que a análise à unidade descrita neste trabalho fosse alargada a todas as UTA da unidade hospitalar em questão, podendo, depois, optar-se pela solução economicamente mais viável e energeticamente mais sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UIE/ACSS, “Especificações Técnicas para Instalações de AVAC – ET 06/2008”, UIE/ACSS, 2014.
- [2] C. Europeia, Regulamento (UE) nº1253/2014 da Comissão de 7 de julho de 2014, Jornal Oficial da União Europeia, pp. 337/8 – 337/26, 2014.
- [3] A. B. Boveri, “Note. IEC 60034-30-1 standard on efficiency classes for low voltage AC motors”, ABB, 2018.
- [4] G. Wang, Z. Wang, Z. Han, R. D. Rodriguez, “Investigation of efficiency models in EnergyPlus and AMCA standard 207 for induction motors powered by variable frequency drives”, Energy & Buildings, vol. 196, pp. 94-102, April 2019, 10.1016/j.enbuild.2019.04.045.
- [5] S. D. Umans, “Apêndice A – Circuitos Trifásicos”, in Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley, 7ª ed. Mc Graw Hill Education, Bookman, 2014, pp. 648.
- [6] O. Energia, DGEG, D. S. P. Energético e Estatística, ADENE, “Energia em Números”, ADENE, 2020.
- [7] J. M. V. S. P. (Coordenação), “Avaliação da Situação Nacional dos Blocos Operatórios – Relatório Final”, Ministério da Saúde, 2015.
- [8] A. S. Gorshkov, N. I. Vatin, P. P. Rymkevich, O. O. Kydrevich. “Payback period of investments in energy saving”, Magazine of Civil Engineering, nº. 2, vol. 78, pp. 65-75, 2018, 10.18720/MCE.78.5.

Título: Instalações Elétricas de Média Tensão – Postos de Transformação e Seccionamento
Autor: António Augusto Araújo Gomes, José António Beleza Carvalho
Editora: Publindústria
Data de Edição: 2017
ISBN: 9789897232541
Nº Páginas: 195
Encadernação: Capa mole

Sinopse:

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 projeto, execução e exploração de postos de transformação e seccionamento aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação na qual sejam intervenientes, maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como reduzir os custos de execução e exploração das instalações.

António Augusto Araújo Gomes
 José António Beleza Carvalho

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE MÉDIA TENSÃO
POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO E SECCIONAMENTO

Sobre o livro

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 projeto, execução e exploração de postos de transformação e seccionamento aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação na qual sejam intervenientes, maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como reduzir 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 (em Habilitação 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 Células na CIBERBUS – Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Sócio da empresa Neutro à Terra – Gabinete de Engenharia Lda (2000 a 2006). Prestação de serviços de formação e/ou projeto e/ou assessoria e/ou consultoria no âmbito das instalações elétricas, interconexões, segurança, gestão de energia, eletrónica/energética, a diversas entidades, nomeadamente NERFAM – Consultores de Engenharia, SA, Schurnal – Engenharia e Serviços, Lda, ENERDO – Consultores de Engenharia, Lda, EQ – Instituto de Segurança e Qualidade, Quaternos – Indústria de Químicos Elétricos, SA, EP – Instituto Eletrotécnico Português, CENBITEC – Centro de Energia e Tecnologia/ANACOM – Autoridade Nacional das Telecomunicações, IIT – Instituto para o Desenvolvimento Tecnológico, IEM – Agência de Energia Entre Douro e Douro.

José António Beleza Carvalho

Bacharel 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 as funções de Diretor do Departamento. Integra a direção da Escola Tecnológica de Vale de Cambes como representante do Instituto Politécnico do Porto. 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.



EMISSÕES DE CO₂ E PRODUÇÃO DE RESÍDUOS RADIOATIVOS PELAS FONTES ENERGÉTICAS EM PORTUGAL

Resumo

A energia elétrica que chega às nossas habitações é fornecida pelos agentes comercializadores registados no mercado, que adquirem a energia provenientes de diversas fontes primárias e a vendem aos clientes finais.

Os compradores dessa energia, como consumidores finais, têm o direito de estar informados sobre as ofertas de fornecimento de energia ativa, através das contribuições percentuais (mix) dos recursos energéticos primários utilizados na geração e respetivos impactes ambientais. Tal processo é designado por rotulagem de energia elétrica. Atualmente, todos os comercializadores de energia elétrica têm a obrigatoriedade de colocar esta informação nas faturas dos seus clientes.

Neste trabalho são apresentados os resultados do cálculo das emissões específicas e totais de dióxido de carbono, e da produção específica dos resíduos radioativos de alta atividade, para diferentes comercializadores de energia em Portugal Continental e Regiões Autónomas. Os resultados apresentados são obtidos através dum simulador de cálculo de emissões, desenvolvido para este estudo. A metodologia adotada neste estudo está em conformidade com a legislação em vigor, a Diretiva nº16/2018.

Palavras – Chave: *Emissões específicas de CO₂; Resíduos radioativos de alta atividade; Simulador de cálculo; Mix energético*

1. Introdução

Dadas as preocupações crescentes com as alterações climáticas, foi implementado em Portugal o conceito de rotulagem de energia elétrica, que consiste na informação

apresentada aos consumidores sobre as origens da energia elétrica que consomem e os respetivos impactos ambientais associados [1].

A rotulagem de energia elétrica é legislada pela Diretiva nº16/2018 [2], conforme o Regulamento de Relações Comerciais (RRC) [3], publicado pela ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. A partir de 1 de janeiro de 2021 o RRC em vigor é comum para os setores elétrico e do gás.

A referida Diretiva, através da rotulagem de energia elétrica, vai conseguir a diferenciação dos comercializadores e dos seus produtos, de modo que, os consumidores possam fazer as suas escolhas com base num critério adicional ao preço. Por outro lado, responsabiliza os consumidores pelas suas escolhas de consumo de energia elétrica.

A informação sobre as origens da energia elétrica exposta aos consumidores nas suas faturas mensais apresenta as contribuições percentuais de cada uma das categorias de fontes de energia no total de energia vendida pelo comercializador, que se designa por *mix* energético.

Neste trabalho é caracterizada a metodologia do cálculo do *mix* e são apresentados os resultados do cálculo das emissões específicas e totais de CO₂ e a produção específica dos resíduos radioativos de alta atividade (RRAA) presentes no mercado ibérico de eletricidade (MIBEL). Foram utilizados dados dos fatores de emissão para Portugal Continental, para a Região Autónoma da Madeira (RAM) e para a Região Autónoma dos Açores (RAA), assim como os fatores de produção genéricos dos RRAA.

2. Metodologia de Cálculo

A metodologia de cálculo aqui apresentada segue o estipulado na Diretiva 16/2018 e, para a sua aplicação, foi desenvolvido em Excel um simulador de cálculo de emissões, caracterizado na secção 3.

Foram recolhidos os vários *mix* energéticos, os fatores das emissões de CO₂ e os fatores de produção de RRAA, valores disponibilizados pelos comercializadores para os anos de 2017, 2018 e 2019, para as regiões de Portugal Continental, para a RAM e para a RAA.

2.1. Cálculo das emissões específicas e totais de CO₂

Para o cálculo das emissões específicas de CO₂ é necessário primeiro identificar os tipos de *mix* disponibilizados pelos comercializadores. O *mix* representa as contribuições percentuais de cada uma das categorias de fontes de energia elétrica, para o total de energia vendida pelo comercializador e pode ser identificada em dois tipos: *mix* de oferta - consiste no *mix* apresentado pelos comercializadores para cada uma das suas ofertas; *mix* de comercializador - o comercializador pode optar por dois tipos de *mix*: adotar um *mix* genérico para toda a carteira de fornecimentos ou apresentar um *mix* específico para as suas ofertas comerciais.

De acordo com o artigo nº 9 e nº 10 da Diretiva 16/2018, a forma de calcular as emissões específicas do *mix* da oferta e do *mix* do comercializador é:

“O comercializador, COM_i, calcula anualmente as suas emissões específicas de cada oferta j, adicionando os fatores de emissões de cada categoria c, indicada nas alíneas do nº2 do Artigo 2º, relativas às fileiras eminentes ponderados pela sua contribuição para o mix da oferta do comercializador [percMIX_c|COM_ioferta_j], relativa ao último trimestre do ano anterior, conforme a seguinte expressão:”

$$\begin{aligned} \text{Emissões específicas de CO}_2 | \text{COM}_{i|\text{oferta } j} &= \\ &= \sum_c (\text{Factor de Emissão de CO}_2^c \times \text{percMIX}_c | \text{COM}_{i|\text{oferta } j}) \end{aligned} \quad (1)$$

“O comercializador, COM_i, calcula anualmente as suas emissões específicas, adicionando os fatores de emissões de cada categoria c, indicada nas alíneas do nº2 do Artigo 2º, relativas às fileiras eminentes ponderados pela sua contribuição para o mix do comercializador [percMIX_c|COM_i], relativa ao último trimestre do ano anterior, conforme a seguinte expressão:”

$$\begin{aligned} \text{Emissões específicas de CO}_2 | \text{COM}_i &= \\ &= \sum_c (\text{Factor de Emissão de CO}_2^c \times \text{percMIX}_c | \text{COM}_i) \end{aligned} \quad (2)$$

Segundo o artigo nº 11, as emissões totais de CO₂ associadas ao consumo de fatura são determinadas pelo produto entre o consumo faturado e as emissões específicas anuais de CO₂ referentes ao artigo nº 9 e nº 10, de acordo com a equação (3).

$$\text{Emissões totais de CO}_2 = \text{Consumo faturado} \times \text{Emissões específicas de CO}_2 \quad (3)$$

2.2. Produção específica de RRAA

Para além do cálculo das emissões específicas e totais de CO₂, o simulador desenvolvido também realiza o cálculo das produções específicas dos resíduos radioativos de alta atividade. O cálculo da produção específica de RRAA do comercializador é obtida pelo produto entre o fator de produção de RRAA e a fração de energia nuclear presente no *mix*, de acordo com (4):

$$\text{Produção específica de RRAA} = \text{Fator de produção de RRAA} \times \text{Fração de energia nuclear} \quad (4)$$

2.3. Comercializadores de Energia Elétrica

Para os cálculos foram recolhidos os valores dos *mix*, emissões específicas de CO₂ e produção específica de RRAA de vários comercializadores das três regiões do país, entre 2017 e 2019. No caso da RAA e da RAM foi utilizada a informação disponível pelas entidades concessionárias de

distribuição e transporte, respetivamente, a EDA [4] e a EEM [5]. Na Tabela 1 são indicados os comercializadores analisados para este estudo.

Tabela 1. Comercializadores de energia

Comercializadores
EDP – Energias de Portugal
Iberdrola Portugal
Galp
Endesa Portugal
RolearViva
JAFPLUS
EDA – Eletricidade dos Açores
EEM – Empresa de Eletricidade da Madeira

Estes comercializadores foram escolhidos devido à sua relevância no setor energético, colocação no mercado e oferta de diferentes formas de fornecimento de energia elétrica que estes apresentam aos consumidores.

2.4. Fatores de Emissão de CO₂ e RRAA

Para o cálculo das emissões específicas de CO₂ é necessário também recorrer aos valores disponibilizados pela ERSE para os anos em análise, onde estão indicados os fatores de emissão atmosférica de cada categoria de fonte de energia elétrica, para as diferentes regiões do país.

Para além das emissões de CO₂, as emissões dos resíduos radioativos de alta atividade (RRAA) devem ser contabilizadas. Apesar Portugal não dispor de centrais nucleares de produção de energia, são diversas as existentes em Espanha. Estes valores são importantes também para Portugal, uma vez que os setores elétricos português e espanhol estão integrados no MIBEL – Mercado Ibérico de Energia.

A referência à produção nuclear de eletricidade deve-se ao facto de que, para efeito do apuramento da produção base do sistema elétrico português, considera-se o saldo importado na interligação proveniente de Espanha, no qual é atribuível o *mix* de produção base do sistema elétrico

espanhol que pode incluir produção elétrica de origem nuclear [6].

A ERSE não disponibiliza os fatores de produção de RRAA, sendo então utilizados os valores genéricos disponibilizados pela Comissão Nacional de Mercado e Concorrência espanhola (CNMC), que os publica anualmente [7].

3. Simulador de Cálculo de Emissões

Por ser acessível e fácil de manipular, o simulador desenvolvido para o cálculo de emissões foi elaborado em Excel. Foram utilizadas as equações apresentadas na secção anterior, as equações (1), (2) e (3) para o cálculo das emissões específicas e totais de CO₂, e equação (4) para a produção específica de RRAA.

É pedido ao utilizador a indicação da região para onde se querem fazer os cálculos (opção entre as três regiões do país) e o consumo de eletricidade que consta na fatura (em kWh). Para o cálculo das emissões totais de CO₂, é necessário indicar para cada fonte o seu valor percentual na fração do *mix* e o ano de rotulagem a que corresponde o respetivo *mix*.

A Tabela 2 apresenta os resultados do simulador para o cálculo das emissões específicas de CO₂ entre 2017 e 2019, na coluna “Ferramenta”. São também apresentados os valores das emissões divulgados por cada comercializador para o mesmo período de tempo, na coluna “Comercializador”.

No caso dos comercializadores Iberdrola, Galp, Endesa, RolearViva, JAFPLUS e EEM os valores obtidos pelo simulador são próximos dos divulgados pelos comercializadores, com ligeira margem de erro. Na Rolearviva para o ano de 2018, na JAFPLUS para o ano de 2017 e na concessionária EEM para o ano de 2019, foram verificadas diferenças entre os valores calculados pela ferramenta e os disponibilizados pelos comercializadores. No caso da comercializadora EDP foram verificadas as maiores discrepâncias entre valores.

Tabela 2. Emissões Específicas de CO₂ (gCO₂/kWh)

	2019		2018		2017	
	Ferramenta	Comercializador	Ferramenta	Comercializador	Ferramenta	Comercializador
EDP	209,32	250,33	266,55	248,54	-	-
Iberdrola	253,28	250,9	-	-	-	-
Galp	-	-	327,13	337,9	-(a)	385,1
Endesa	250,91	250,91	371,5	398,88	480,25	480,24
RolearViva	257,72	257,72	215,9	211,6	-	-
JAFPLUS	345,77	315,45	346,04	346,06	417,49	409,89
EDA	475,79	-(b)	-	-	-	-
EEM	391,35	535	432,78	434	462,32	465

(a) O valor não pode ser calculado, uma vez que a comercializadora Galp não divulgou o *mix* para esse ano

(b) A EDA não divulgou o valor calculado das emissões específicas

As diferenças entre os valores disponibilizados pelos comercializadores e os valores calculados com o simulador devem-se a arredondamentos, utilização de valores genéricos ou faltas pontuais de informação, que podem enviesar os cálculos finais. No entanto, na generalidade, o simulador desenvolvido apresenta um bom desempenho, pela proximidade da maioria dos resultados com os valores divulgados pelos comercializadores.

Para a produção específica de RRAA, são apresentados os resultados na Tabela 3, para os comercializadores com um fornecimento de energia elétrica que contém uma fração de energia nuclear e os valores da produção de RRAA divulgada pelos comercializadores. Nestes cálculos foram retiradas as ilhas, RAA e RAM, uma vez que estas regiões não têm produção específica de RRAA.

Também aqui na Tabela 3, na coluna “Ferramenta” estão apresentados os valores que foram calculados e na coluna “Comercializador” os valores que foram divulgados pelos comercializadores.

Nos resultados da produção específica de RRAA, apenas para a JAFPLUS se verifica uma pequena diferença entre os valores obtidos pelo simulador e os divulgados pelos comercializadores. Estas diferenças podem ter sido verificadas devido à utilização de valores genéricos pela CNMC para os fatores de produção de RRAA.

Para os comercializadores Endesa e Galp, os valores calculados de produção específica de RRAA foram próximos dos divulgados o que se conclui pelo bom desempenho do simulador para o cálculo da produção específica de RRAA.

Tabela 3. Produção específica de RRAA (µg/kWh)

	2019		2018		2017	
	Ferramenta	Comercializador	Ferramenta	Comercializador	Ferramenta	Comercializador
EDP	0	0	0	0	-	-
Iberdrola	0	0	-	-	-	-
Galp	-	-	29,7	26,91	-(a)	23,19
Endesa	0	0	34,4	32,49	27,64	27,64
RolearViva	0	0	16,47	-(b)	-	-
JAFPLUS	35,85	27,43	34,45	23,61	23,92	18,41

(a) O valor não pode ser calculado, uma vez que a comercializadora Galp não divulgou o *mix* para esse ano

(b) Não divulgou a produção específica de RRAA

4. Conclusão

Os resultados obtidos pelo simulador de cálculo de emissões foram positivos, sendo que alguns deles devido à falta de informação disponibilizada pelos comercializadores, arredondamentos ou no caso da produção específica de RRAA, o uso de valores genéricos em vez de valores mais exatos levou a discrepâncias nos valores finais calculados. No entanto, aquelas discrepâncias não prejudicaram a utilidade do simulador de cálculo de emissões desenvolvido que, apesar de limitações pontuais, mostrou um bom desempenho.

Durante a realização deste trabalho surgiram algumas dificuldades em encontrar toda a informação necessária, nomeadamente, falta de informação associada a alguns comercializadores.

Na continuação deste estudo, pretende-se incrementar a qualidade técnica do simulador de cálculo das emissões específicas de CO₂, através da implementação de um sistema automático em que o utilizador apenas tenha de seleccionar o seu comercializador, região e ano, apresentando na ferramenta os valores finais dos cálculos, sem necessidade de indicar a percentagem de cada fonte no *mix* do comercializador.

Referências

- [1] ERSE, “Rotulagem,” 2021. <https://www.erse.pt/eletricidade/rotulagem/rotulagem>
- [2] D. da Republica, “Rotulagem de energia elétrica,” Diretiva no16/2018, vol. 56. pp. 33468–33480, 2018, [Online]. Available: <https://dre.pt/application/conteudo/117376527>
- [3] ERSE, “Regulamento de Relações Comerciais do setor elétrico e do setor do gás,” Regulamento n.o 1129/2020 - DRE. .
- [4] EDA, “Política de Qualidade, Ambiente e Segurança,” Eletricidade dos Açores. <https://www.eda.pt/Sustentabilidade/Paginas/Ambiente.aspx> (accessed Jun. 02, 2021)
- [5] EMA, “Rotulagem de energia eléctrica,” Eletricidade da Madeira. <https://www.eem.pt/pt/conteudo/sustentabilidade/rotulagem-de-energia-eletrica/> (accessed Jun. 02, 2021)
- [6] REE, “Gestor de la red y transportista,” Red Eléctrica de España. <https://www.ree.es/es/actividades/gestor-de-la-red-y-transportista> (accessed Jun. 02, 2021)
- [7] MIBEL, “Constituição,” Mercado Ibérico de Eletricidade. <https://www.mibel.com/conselho-de-reguladores/constituicao/> (accessed Jun. 02, 2021)

GRAUS DE PROTEÇÃO ASSEGURADOS PELOS INVÓLUCROS

1. Enquadramento

Existem dois tipos de graus de proteção, tendo cada um deles o seu sistema de codificação: Código IP e Código IK.

Cada um destes códigos encontra-se descrito e caracterizado numa norma, que indica também a metodologia de realização dos testes de verificação do código:

- Código IP: NP EN 60529;
(Aplicável a invólucros de tensão estipulada igual ou inferior a 72,5 kV)
- Código IK: NP EN 50102.

2. Definições

Invólucro: O invólucro é o elemento que assegura a proteção dos equipamentos contra determinadas influências externas e, em todas as direções, a proteção contra os contactos diretos .

Grau de proteção: O grau de proteção é o nível de proteção assegurado por um invólucro contra o acesso a partes perigosas, contra a penetração de corpos sólidos estranhos, contra a penetração de água, ou contra os impactos mecânicos exteriores, verificado por métodos de ensaio normalizados.

3. Código IP

O código IP consiste num sistema de codificação para indicar os graus de proteção assegurados por um invólucro contra o acesso a partes perigosas, a penetração de corpos sólidos estranhos, a penetração de água e para fornecer uma informação adicional relacionada com a referida proteção.

O código IP é composto por dois números de um dígito cada,

localizados imediatamente após as letras "IP" e que são independentes um do outro.

- O número que aparece em primeiro lugar (primeiro algarismo característico), indica a proteção das pessoas contra o acesso a partes perigosas (normalmente partes vivas ou partes móveis que não sejam eixos rotativos e similares), limitando ou impedindo a penetração de uma parte do corpo humano ou de um objeto capturado por uma pessoa e, simultaneamente, garantir a proteção do equipamento contra a penetração de corpos sólidos estranhos.

É graduado de 0 (zero) a 6 (seis), sendo que à medida que o seu valor aumenta, a proteção contra a penetração de corpos sólidos é maior.

- O número que aparece em segundo lugar (segundo algarismo característico), indica a proteção do equipamento dentro do invólucro contra os efeitos nocivos causados pela penetração da água.

É graduado de 0 (zero) a 9 (nove), sendo que à medida que o seu valor aumenta, a proteção contra a penetração de corpos líquidos é maior.

Opcionalmente, o código IP pode ser complementado com uma letra adicional (A, B, C ou D), colocada imediatamente após os algarismos característicos, que fornece informação sobre a acessibilidade de certos objetos ou partes do corpo às partes perigosas dentro do invólucro. Pode também ser complementado com uma letra suplementar (H, M, S ou W), que fornece informação suplementar, conforme indicado na tabela 2.

Caso o invólucro não tenha um algarismo característico especificado, porque não é necessário para uma aplicação específica ou porque não foi ensaiado nesse sentido, este deve ser substituído pela letra «X» (ou «XX» se forem omitidos os dois algarismos característicos).

Tabela 1. Codificação do grau de proteção assegurado pelos invólucros

Posição	1	2	3	4	5
	Letras do código	1º Algarismo característico Grau de proteção dos invólucros de equipamentos elétricos contra a penetração de corpos sólidos	2º Algarismo característico Grau de proteção dos invólucros de equipamentos elétricos contra a penetração de água	Letra adicional (facultativa)	Letra suplementar (facultativa)
Codificação	IP	Algarismo de 0 a 6 ou letra X	Algarismo de 0 a 9 ou letra X	A, B, C, D	H, M, S, W
Se não for exigida a especificação de um algarismo característico, este deverá ser substituído pela letra "X" (ou "XX" se forem omitidos os dois algarismos). As letras adicionais e/ou as letras suplementares podem ser omitidas sem substituição. Se for utilizada mais do que uma letra suplementar deve aplicar-se a ordem alfabética.					

Tabela 2. Significado da codificação do grau de proteção assegurado pelos invólucros

Letra	IP	Significado para a proteção		
		do equipamento	de pessoas	
Primeiro algarismo característico	Grau de proteção dos invólucros de equipamentos elétricos contra a penetração de corpos sólidos	0	(Não protegido)	(Não protegido)
		1	Protegido contra a penetração de corpos sólidos estranhos de diâmetro ≥ 50 mm	Protegido contra o acesso às partes perigosas com as costas da mão
		2	Protegido contra a penetração de corpos sólidos estranhos de diâmetro $\geq 12,5$ mm	Protegido contra o acesso às partes perigosas com um dedo
		3	Protegido contra a penetração de corpos sólidos estranhos de diâmetro $\geq 2,5$ mm	Protegido contra o acesso às partes perigosas com uma ferramenta
		4	Protegido contra a penetração de corpos sólidos estranhos de diâmetro ≥ 1 mm	Protegido contra o acesso às partes perigosas com um fio
		5	Protegido contra a penetração de poeira	Protegido contra o acesso às partes perigosas com um fio
		6	Estanque à poeira	Protegido contra o acesso às partes perigosas com um fio
Segundo algarismo característico	Grau de proteção dos invólucros de equipamentos elétricos contra a penetração de água	0	(Não protegido)	--
		1	Protegido contra a queda vertical de gotas de água	--
		2	Protegido contra a queda vertical de gotas de água com o invólucro inclinado no máximo 15º	--
		3	Protegido contra a chuva	--
		4	Protegido contra as projeções de água	--
		5	Protegido contra os jatos de água	--
		6	Protegido contra fortes jatos de água	--
		7	Protegido contra os efeitos de imersão temporária em água	--
		8	Protegido contra os efeitos da imersão permanente em água	--
9	Protegido contra os jatos a alta pressão e a alta temperatura	--		
Letra adicional (facultativa)	A	Protegido contra o acesso a partes perigosas com as costas da mão		
	B	Protegido contra o acesso a partes perigosas com o dedo e objetos análogos que não excedam um comprimento de 80 mm.		
	C	Protegido contra o acesso a partes perigosas com uma ferramenta com um diâmetro superior a 2,5 mm		
	D	Protegido contra o acesso a partes perigosas com um fio de diâmetro superior a 2,5 mm		
Letra supl. (facultativa)	H	Equipamento de alta tensão		
	M	Movimento durante o ensaio de água		
	S	Estacionário durante o ensaio de água		
	W	Intempéries		

1.4. Código IK

O código IK consiste num sistema de codificação para indicar o grau de proteção assegurado por um invólucro contra os impactos mecânicos nocivos, salvaguardando os materiais e/ou equipamentos que se encontram no seu interior.

O código IK é composto por um número característico de dois dígitos, localizado imediatamente após as letras "IK".

É graduado de 00 (zero) a 10 (dez), sendo que à medida que o seu valor aumenta, indica que a proteção contra impactos mecânicos é maior.

Tabela 3 - Codificação do grau de proteção contra os impactos mecânicos (código IK)

Posição	1	2
	Letras do código (Proteção mecânica internacional)	Grupo de números característico
Codificação	IK	De 00 a 10

Tabela 4 - Significado dos grupos de números característicos do grau de proteção contra os impactos mecânicos (código IK)

Número característico	Energia de impacto (Joule)
00	Não protegido
01	0.14
02	0.20
03	0.35
04	0.50
05	0.70
06	1
07	2
08	5
09	10
10	20

Quando for necessário um valor de energia de impacto superior, é recomendado a utilização do valor de 50 Joule.

COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:**Ana Catarina Aguiar Leitão Barbosa**

Aluna do Mestrado Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, Instituto Superior de Engenharia do Porto

1170560@isep.ipp.pt

António Augusto Araújo Gomes

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

aag@isep.ipp.pt

José António Beleza Carvalho

Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

jbc@isep.ipp.pt

Nuno Miguel de Deus Anselmo Silva

Aluno do Mestrado Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, Instituto Superior de Engenharia do Porto

1200314@isep.ipp.pt

Paulo Sérgio Fernandes Barros

Aluno do Mestrado Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, Instituto Superior de Engenharia do Porto

1151044@isep.ipp.pt

Pedro Miguel Azevedo De Sousa Melo

Assistente 2.º Triénio, Instituto Superior de Engenharia do Porto

pma@isep.ipp.pt

Ricardo Manuel Oliveira Soares

Pós-Graduado em Engenharia da Mobilidade Elétrica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

soares.ricardo.mo@gmail.com

Rui Jorge dos Santos Araújo e Conceição Baltazar

Pós-Graduado em Engenharia da Mobilidade Elétrica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

rui_baltazar@hotmail.com

Sérgio Filipe Carvalho Ramos

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

scr@isep.ipp.pt

Teresa Alexandra Ferreira Mourão Pinto Nogueira

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

tan@isep.ipp.pt

