

EDITORIAL

Viabilidade e rentabilidade da investigação aplicada aos circuitos de ligação à terra

Na convergência de quanto respeita à segurança das instalações eléctricas, situa-se basilarmente a problemática do *aterramento*, como é costume expressar-se no Brasil a *ligação à terra*. (Esta, porém, é a designação oficial empregada na regulamentação técnica em vigor em ambos os países da Comunidade).

Em primeiro lugar, com efeito, a existência e a operacionalidade de ligações à terra, com resistências limitadas, é fundamental na manutenção das redes eléctricas, designadamente, para garantia das características da exploração, defesa do material frente aos «defeitos» de curto-circuito e equilíbrio conjuntural dos meios envolvidos em sistemas distribuidores de energia. No caso das grandes redes de distribuição, no seguimento de numerosos e complexos cálculos aplicáveis e da escolha, montagem e regulação dos sistemas de protecção e manobra, não é de forma alguma irremovível a existência de ligações à terra de eficiência necessária e inalterável.

Quando se pensa, todavia, nos riscos da electricidade envolvendo pessoas e bens (tanto na alta, como na baixa tensão), quaisquer que sejam os sistemas de protecção, a ligação à terra desempenha papel primordial. Perante as tensões de «defeito», impõe-se sempre, sem perigo circunstancial, o escoamento (a tempo e inofensivo) da corrente para a terra, como condição necessária ao funcionamento eficaz daqueles sistemas protectores.

Por curiosidade anotamos (como foi reconhecido em conferência internacional organizada em 1972 pela Institution of Electrical Engineers) que seriam, então, sete os processos diferentes de providenciar eficazmente, em redes de baixa tensão, quanto à segurança de pessoas e bens, intervenientes ou próximos do funcionamento daquelas redes, desde a alimentação até às aplicações energéticas. Em qualquer destes sistemas, impõe-se a circunstância descrita: a eficácia dos circuitos de terra, quanto ao escoamento em poucos segundos das correntes de «defeito», capacitando a manobra tempestiva da aparelhagem de protecção e quanto à limitação do gradiente do potencial ao redor do electrodo na superfície do solo, nunca superior a 50 V.

Consequentemente, à operacionalidade das ligações à terra são indispensáveis os requisitos seguintes: 1) a mais baixa possível resistência dos circuitos de terra (na ordem de valor máximo de algumas dezenas de ohm), 2) secção mínima adequada dos condutores do circuito; 3) invariabilidade no tempo, considerados os materiais utilizados e as mudanças sazonais nas condições físico-químicas dos solos.

Há pouco mais de um ano abordámos o tema neste mesmo lugar da nossa revista.

A importância do assunto, todavia, explica a razão desta insistência. Com efeito, no âmbito legal, a obrigatoriedade e a qualidade das ligações à terra são preocupação oficialmente evidenciada na regulamentação técnica portuguesa. Por muitas razões, entre as quais o factor *segurança* (no sentido lato que lhe devemos dar) são determinantes as imposições e o acatamento imperioso de quanto neste âmbito se decretou e vigora com referência à estruturação e exploração de postos e subestações de transformação, de redes eléctricas de distribuição e de instalações de utilização de energia eléctrica — regras importantes de aplicação extensiva, de evidente interesse para a totalidade da população.

Faremos ainda uma referência à *Norma NB-3* da Associação Brasileira de Normas Técnicas aplicável à execução de instalações eléctricas de baixa tensão.

A imposição e o condicionalismo exigidos às ligações à terra são evidenciados naquelas disposições, como, aliás, acontece oficialmente em toda a parte e em qualquer país. É geral, obviamente, o respeito que merece a problemática da segurança perante os perigos da electricidade.

O cumprimento cuidadoso e integral do que está universalmente regulamentado e experimentado em relação à operacionalidade das ligações à terra, tem de ser, efectivamente, preocupação permanente de projectistas, montadores e responsáveis pela exploração das redes e utilizações eléctricas, em cada parcela das suas actividades profissionais.

Temos, pois, que, para além dos condicionalismos mínimos que afectam as estruturas impostas aos circuitos de terra, haverá de acentuar-se que — na execução dos sistemas de segurança — os seguintes objectivos são essenciais: — 1) A corrente de defeito deve fazer activar a aparelhagem de protecção em tempo limite, não superior a cinco segundos; 2) Qualquer *massa* não pode permanecer, na generalidade, a potencial superior a 50V em relação à terra, ou, em certos casos, superior a 24 V.

Sem prejuízo da invulnerabilidade necessária dos circuitos de terra em relação à erosão do tempo e o seu *dimensionamento*, objectivado para comportamento eléctrico adequado, a resistência do circuito de terra é a grandeza essencial para a definição do condicionalismo necessário à sua operacionalidade. O respectivo cálculo teórico depende da superfície de contacto dos electrodos e da sua forma e, ainda, da sua distri-

buição pelo terreno. A resistividade do solo é, também, elemento indispensável, do cálculo; esta característica do terreno é, porém, muito variável com a sua natureza como, empiricamente se pode evidenciar através da observação das seguintes ordens de grandeza:

- em terrenos húmidos e salinos: alguns ohm por metro (ou até menos);
- em terrenos húmidos argilosos: 10 a 100 ohm por metro;
- em areias siliciosas húmidas: 200 a 500 ohm por metro;
- em terreno seco, arenoso ou não: 1000 a 5000 ohm por metro;
- em solos graníticos ou basálticos, desde que sejam muito compactados: mais de 10 000 ohm por metro.

Contudo, ainda outra grandeza, muito variável de sítio para sítio, perturba esta apreciação genérica da natureza dos terrenos em relação à respectiva resistividade. Com efeito, o solo pode ser considerado (por aproximação grosseira) como formado apenas por duas camadas homogéneas, uma e outra com resistividades diferentes. A realidade normalmente é outra: as camadas diferentes são muitas. Mas a aproximação referida serve só para evidenciar a existência daquela outra grandeza variável.

A hipótese consiste em admitir a existência de uma primeira camada (furando-se da superfície para o interior) e apenas outra que, para simplificar, se considera homogeneamente estendida até ao fim.

Situa-se a tal grandeza na variabilidade da espessura da primeira camada, apreciada em metros, até se encontrar a outra. Como estas mudanças se dão com extraordinária diversidade, eis aqui outra grandeza fundamental para a execução e funcionamento capazes da ligação à terra, com vista à resistência limite exigida pela segurança das instalações eléctricas e legalmente imposta. É este, pois, outro parâmetro a condicionar a resolução deste complexo problema enquadrado na electrotécnica em geral.

A influência de todos os parâmetros atrás referidos sobre o comportamento eléctrico do terreno, em cada caso, e a incógnita determinante da espessura da camada homogénea onde se encontra o eléctrodo de terra têm de ser necessariamente ultrapassadas. Para além do dimensionamento mínimo legalmente exigido, a operacionalidade das ligações à terra tem-se obtido (ou melhor: na generalidade deveria ter sido obtida) por variados artificios, como (por exemplo) interligando em paralelo diversos eléctrodos de terra suficientemente distanciados, ou, dentro de limites, (além dos quais se desvanece a eficácia da solução) acrescentando a superfície de contacto e, ainda, por tratamento químico do solo em ordem a diminuir a respectiva resistividade.

Portanto, resumindo, podemos assentar, em que a exigência de terras eficazes é imposição legal que se caracteriza por necessidade irremovível da segurança das instalações eléctricas.

Esta eficácia depende da natureza do terreno, da composição química e das circunstâncias físicas do solo, nomeadamente, o seu grau de humidade.

Os terrenos aráveis e húmidos são mais condutores que os secos e compactados; a areia diminui a con-

ductibilidade da terra; os solos absolutamente secos e certas rochas são praticamente isoladores.

Desde as instalações eléctricas de utilização doméstica até às redes de distribuição e às grandes e pequenas subestações e centrais, a ligação à terra adequada constitui preocupação irremovível da electrotécnica de projecto, de execução e de funcionamento.

Terminamos assim a apresentação do tema que intentámos referir neste editorial. Daqui, partiremos, porém, com objectivos de diverso rumo.

O assunto já foi abordado no nosso editorial de Março de 1974. Observemo-lo agora, porém, sob direcção diferente, orientando a nossa apreciação pelo prisma da economia dos investimentos inerentes à actividade energética. A problemática da ligação à terra, condicionada pelas incertezas que resultam (como pensamos) do empirismo tecnológico decorrente do comportamento eléctrico dos solos, terá recebido soluções generalizadas que, sem prejuízo da segurança, tenham exagerado imobilizações superflúas com dimensionamentos excessivos, em regiões ou terrenos de fracas resistividades? A dúvida, em si mesma, reflecte a preocupação legítima que nos leva a reflectir acerca da importância do problema, apreciado por este lado, com vista aos muitos milhares de toneladas de cobre electrolítico que, dia a dia, se enterram por esse mundo, para escoar depressa correntes eléctricas de «defeito» ou outras que decorrem dos sistemas defensores da segurança das redes.

Apesar de todos os aspectos qualitativos já enunciados, é legítima a aspiração de se conhecer (porque a incidência do encargo do «supérfluo» é por ventura, significativa) no campo da física ou da química, e suas implicações geológicas, geomagnéticas ou radioactivas, a existência eventual de princípios e leis quantitativas aplicáveis ao enquadramento da tecnologia das ligações à terra em função da natureza dos solos.

Com efeito, existe nesta discorrência uma implicação económica possível. Se, em muitos casos, há terras inoperantes (muito perigosas perante os riscos da electricidade), outras haverá, eventualmente, que sejam *terras de mais...*, na óptica da avaliação das suas estruturas, possivelmente hiperdimensionadas para a utilização suficiente e necessária dos circuitos da terra.

Aliás, na prática actual das instalações de ligações à terra, obtêm-se (depois das montagens) resultados por vezes disparatados, em ambos os sentidos: quer em inesperadas resistências de circuitos de terra praticamente nulas, quer — pelo contrário — situações increditáveis em que o circuito de terra se encontra praticamente isolado do solo!

No passado de há já muitos anos, quem subscreve estas linhas encontrou, no apoio de uma linha de alta tensão, situado muito perto da subestação de Coima da antiga UEP, a instalação de um circuito de terra cuja estrutura obedecera inteiramente às normas legais. Os condutores e os electrodos haviam sido montados, conscientemente, de acordo com as *regras da arte* aplicáveis (como então se dizia na gíria corrente da fiscalização oficial).

Foi medida a resistência do circuito de terra. Não podemos hoje precisar quais foram os resultados obtidos. Apenas nos recordamos, agora, de que essa resistência tinha tal valor que nos ficou a ideia de que o tal poste se encontrava isolado da terra e que a resistência do circuito se aproximava do infinito!...

A primeira camada homogénea de terra (a tal já referida neste escrito) era suficientemente espessa para que o aterramento houvesse sido operado em terreno uniforme, húmido, arável e de constituição areno-argilosa.

Ainda hoje nos lembramos (com justificada saudade) da surpresa e da perturbação racional do nosso querido colega e amigo, engenheiro Paulo de Barros, que nos acompanhava nas medições feitas. Que teria efectivamente acontecido?

•

Tanto quanto conhecemos do que se passa no nosso País, na órbita oficial, as condições estruturais mínimas impostas aos circuitos de terra aproximam-se (como é lógico e necessário) da regulamentação internacional congénere, a qual (como é evidente) assenta em parâmetros tradicionalmente confirmados por um século de experiências e pesquisas generalizadas. Pensamos, porém, que as conclusões que têm sido alcançadas, no tocante ao comportamento dos solos para efeito da operância dos circuitos de terra, assentam em factos experimentais, desacompanhados de desenvolvimentos teóricos, eventualmente conducentes a princípios rigorosos ou a leis quantitativas, fundamentadas em características mensuráveis relacionadas com o ambiente envolvente.

Tradicionalmente, na generalidade, a electrotecnia dos circuitos de terra tem sabor pragmático qualitativo, decorrente de observações generalizáveis na prática.

Com efeito, não se apresentam quaisquer dúvidas de que a resistividade dos terrenos depende das suas qualidades químicas, das condições meteorológicas, da localização geológica, da profundidade do contacto eléctrico com a superfície do chão, de factores climáticos, etc., etc. Mas o *como* e o *porquê* das realidades observadas e, sobretudo, a reconhecida variabilidade, de sítio para sítio, deste condicionalismo influente da resistência dos circuitos de terra, centram o interesse concreto de uma investigação potencialmente rendosa.

Esse interesse aponta para a eventualidade de se medirem e avaliarem as melhores soluções, a discernir em cada projecto, para (sem prejuízo da segurança) se acertar na estrutura exacta de cada circuito de ligação à terra.

•

Em programas de investigação aplicada, a diversidade de opções possíveis, entre determinados objectivos e predisposições aproveitáveis, é condicionada por duas grandezas simultâneas: a viabilidade e a rentabilidade da sistematização do trabalho planeado.

A *viabilidade* mede-se pela disponibilidade de meios humanos e materiais que se evidenciam capazes de programar e executar, com proficiência, os trabalhos que, no rumo planeado, completam o ciclo determinante dos objectivos previamente fixados.

A *rentabilidade*, exclusivamente qualificada pela economia do plano sistematizado, respeita à relação entre os resultados obtidos da investigação e os valores investidos na sua promoção.

Na preparação de um plano de investigação, são de exigir, da sua viabilidade e da sua rentabilidade, perspectivas razoavelmente positivas.

Na viabilidade convergem todos os aspectos que respeitam à estrutura institucional que associa meios e pessoas de idoneidade comprovada e os orienta e dinamiza no rumo desejado.

A preparação técnica e a persistente vocação estudiosa são factores indispensáveis à viabilidade da investigação.

Se considerarmos os propósitos que podem conduzir a electrotecnia nacional a desenvolver o conhecimento teórico e prático da resistividade dos terrenos e do estudo intensivo e extensivo das ligações à terra, não nos parece que (em campo de operacionalidade, que cremos restrito e julgamos pouco sofisticado) a viabilidade se apresente, de antemão, inacessível às possibilidades nacionais.

Na rentabilidade, a probabilidade de se conseguirem, através da investigação, resultados total ou parcialmente positivos, é sempre um vector presuntivo cujo valor escalar é indeterminável a priori. No caso que temos considerado, se admitirmos, com algum pessimismo, que aquele valor se aproxima (embora seja diferente) de zero, mas se atendermos às economias que podem vir a quantificar de futuro os conhecimentos teóricos e práticos, desbravados por investigação sistematizada acerca do comportamento eléctrico das terras a instalar em Portugal, a esperança matemática daquela probabilidade apresenta-se com boas perspectivas, se atentarmos na presumível modestia dos investimentos necessários.

A nossa revista que pretende ser o repositório dos valores positivos que caracterizam, na acção e nas obras, o sector energético do País, já mais de uma vez se tem referido ao trabalho, completo e actualizado, realizado por electrotécnicos portugueses, elaborando a regulamentação técnica da sua especialidade, com destaque (por exemplo) para o «Regulamento da segurança das instalações de utilização de energia eléctrica» (Decreto-lei n.º 740/74, de 26 de Dezembro). Temos por certeza, a nossa opinião de que (neste campo da electrotecnia) a regulamentação oficial portuguesa constitui já hoje um conjunto de valor real e positivo que resiste a confrontos efectivamente honrosos.

Independentemente de outros aspectos que caracterizam as obras desse tipo, o comportamento de técnicos e organismos nacionais — nesta linha de trabalhos — é valor indiscutível de cultura, universalmente compreendida, que enriquece o património colectivo da comunidade portuguesa.

As nossas reflexões conduzem-nos à razão ideológica de que a expansão desses tipos de cultura (de expressão exclusivamente técnica) está na ordem conjuntural do Mundo Moderno.

Por essa via os deveremos fomentar e expandir, porque — na situação presente — o mundo português não passará de gota de água na dimensão da Europa se não vier a projectar-se, por via da sua própria cultura, além do espaço lusitano.

Temos de viver na fé e na porfia total, perseverantes e predestinadas no futuro, pela evolução e pela valorização intelectuais das comunidades portuguesas.

A investigação aplicada (apoiada em planos que se presumam rentáveis e viáveis) segue a linha de rumo da expansão nacional. As predilecções já reveladas em certos sectores da engenharia portuguesa são sinais de contribuição humana colectivamente dispo-

nível. As realizações, como a que esboçamos neste escrito, apenas como reflexo tendencial, estão inteiramente ao alcance da iniciativa e da acção da electrotecnia nacional. ■

F. do A.