

Capítulo X

Subestações

parte 2

Por Marcus Possi*

No artigo anterior, apresentamos as subestações abrigadas e informações sobre como a norma ABNT NBR 14039 apoia o entendimento de segurança e de projeto. Aqui trataremos das subestações montadas para funcionarem expostas ao tempo, muito comuns em áreas livres e ricas em espaço, em que a necessidade de otimização de arrumações e convivência entre diversas necessidades não impedem sua construção, muito comuns em áreas rurais e fábricas. Como é de se prever, os equipamentos que compõem as subestações podem ser classificados como “indoor” e “outdoor”, respectivamente, para uso interno e abrigado, e para uso externo e ao tempo. Os equipamentos que são projetados para uso externo devem ser preparados para atender a requisitos de agressão e impactos mais severos que os seus semelhantes de uso interno, o que traz de imediato a possibilidade de aumento de volume e de custos. Ao volume podemos entender as condições de projeto que norteiam sua condição de instalação e montagem e ao custo podemos ver as consequências desses atendimentos específicos. As condições de isolamento e espaçamentos das partes vivas nas subestações ao tempo também respeitam tabelas diferenciadas.

Quando analisamos o item “9.3.1 – Disposições gerais” dessa norma, retomamos as referências do item 4.3 sobre a classificação das instalações quanto a influências externas, comentado em artigos anteriores. Vamos ver mais uma vez algumas dessas classificações

a título de exemplo, lembrando mais uma vez que devemos estabelecer essa classificação pela codificação em função das influências externas que devem ser consideradas na concepção e na execução de subestações. A primeira letra indica a categoria geral da influência externa: A = meio ambiente; B = utilização; e C = construção das edificações. Eliminando a última letra, temos o uso das Tabelas 1 a 5 e 10 e 11 aqui reproduzidas para maior entendimento.

Quanto à classificação

Tabela 1 – Temperatura ambiente

Essa tabela fornece as referências para classificação quanto à temperatura ambiente, considerando para todos os componentes, a temperatura no local de instalação, tendo em vista a influência de todos os demais componentes instalados no local e em funcionamento, e não levando em consideração a contribuição térmica do componente considerado.

Características			
Código	Classificação	Limite inferior °C	Limite superior °C
AA3	Frio	- 25	+ 5
AA4	Temperado	- 5	+ 40
AA5	Quente	+ 5	+ 40
AA6	Muito quente	+ 5	+ 60

NOTAS

1 O valor médio por um período de 24h não deve ser superior ao limite superior diminuído de 5 °C.

2 Para certos ambientes, pode ser necessário combinar duas regiões entre as definidas anteriormente. Assim, por exemplo, as instalações situadas no exterior podem ser submetidas a temperaturas ambientes compreendidas entre - 5 °C e + 50 °C, isto é, AA4 + AA6.

Tabela 2 – Altitude

Essa tabela fornece as referências para classificação quanto à altura ou à altitude em que ocorre a instalação dos componentes.

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
AC1	Baixa	Baixa	Para alguns materiais, medidas especiais podem ser necessárias a partir de 1 000 m de altitude
AC2	Alta	Alta	

Tabela 3 – Presença de água

Essa tabela fornece as referências para classificação quanto à entrada de água no sistema elétrico: se por gotejamento, por jato d'água, e até por inserção o inundamento.

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
AD1	Desprezível	A probabilidade de presença de água é desprezível	Locais em que as paredes não apresentam geralmente traços de umidade, mas que podem apresentá-lo durante períodos curtos, por exemplo, sob forma de lixívia, e que secam rapidamente graças a uma boa aeração
AD2	Quedas de gotas de água	Possibilidade de quedas verticais de água	Locais em que a umidade se condensa ocasionalmente, sob forma de gotas de água, ou em que há a presença ocasional de vapor de água
AD3	Aspersão de água	Possibilidade de chuva caindo em uma direção em ângulo máximo de 60 °C com a vertical	Locais em que a água, ao respingar, forma uma película nas paredes ou pisos.
AD4	Projeções de água	Possibilidade de projeções de água em qualquer direção	Locais em que além de haver água nas paredes, os componentes da instalação elétrica também são submetidos a projeções de água
AD5	Jatos de água	Possibilidade de jatos de água sob pressão em qualquer direção	Locais que são frequentemente lavados com ajuda de mangueiras
AD6	Ondas	Possibilidade de ondas de água	Locais situados à beira mar, tais como piers, praias, ancoradouros, etc.
AD7	Imersão	Possibilidade de recobrimento intermitente, parcial ou total, por água	Locais susceptíveis de serem inundados e/ou em que a água possa se elevar, no mínimo, a 15 cm acima do ponto mais elevado do equipamento, estando a parte mais baixa do equipamento a, no máximo, 1 m abaixo da superfície da água
AD8	Submersão	Possibilidade de total recobrimento por água de modo permanente	Locais onde os componentes da instalação elétrica sejam totalmente cobertos de água, de maneira permanente, sob uma pressão superior a 10 kPa (0,1 bar, 1 m de água)

Tabela 4 – Corpos sólidos

Essa tabela fornece as referências para classificação no tocante a admissão ou não de partículas sólidas sobre os equipamentos e os componentes das instalações elétricas.

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
AE1	Desprezível	Não existe nenhuma quantidade apreciável de poeira ou de corpos estranho	Instalações em que não são manipulados objetos pequenos
AE2	Objetos pequenos	Presença de corpos sólidos cuja menor dimensão é igual ou superior a 2,5 mm	Ferramentas e pequenos objetos são exemplos de corpos sólidos cuja menor dimensão é igual ou superior a 2,5 mm
AE3	Objetos muito pequenos	Presença de corpos sólidos cuja menor dimensão é igual ou superior a 1 mm	Fios são exemplos de corpos sólidos cuja menor dimensão é igual ou superior a 1 mm
AE4	Poeira	Presença de poeira em quantidade apreciável	Locais empoeirados. Quando as poeiras forem inflamáveis, condutoras, corrosivas ou abrasivas, deve-se considerar simultaneamente outras classes de influências externas, se necessário

NOTA – Nas condições AE2 e AE3, pode existir poeira, desde que esta não tenha influência sobre os materiais elétricos.

Tabela 5 – Presença de substâncias corrosivas ou poluentes

Essa tabela fornece as referências para classificação quanto à aplicação de medidas de proteção e controle da ação de maresias, à deposição de vapores e depósitos de produtos químicos ligadas à condição de tempo de exposição.

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
AF1	Desprezível	A quantidade ou natureza dos agentes corrosivos ou poluentes não é significativa	—
AF2	Atmosférica	Presença significativa de agentes corrosivos ou poluentes de origem atmosférica	Instalações localizadas na vizinhança da orla marítima e instalações situadas nas proximidades de estabelecimentos industriais que produzam poluição atmosférica significativa, tais como indústrias químicas, fábricas de cimento, etc.; estes tipos de poluição provêm principalmente da produção de poeiras abrasivas, isolantes ou condutoras Locais em que se manipulam produtos químicos em pequenas quantidades
AF3	Intermitente	Ações intermitentes ou acidentais de produtos químicos corrosivos ou poluentes de uso corrente	e onde estes produtos só podem vir a ter contatos acidentais com os materiais elétricos, tais condições encontram-se nos laboratórios de fábricas, laboratórios de estabelecimentos de ensino ou nos locais em que se utilizam hidrocarbonetos (centrais de aquecimento, garagens, etc.)
AF4	Permanente	Uma ação permanente de produtos químicos corrosivos ou poluentes em quantidades significativas	Indústria química, por exemplo

Tabela 6 – Radiações solares

Essa tabela deixa clara a classificação de subestações abrigadas e ao tempo, pois fornece as referências para classificação quanto à incidência de raios solares.

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
AN1	Desprezível	—	—
AN2	Significativas	Radiações solares de intensidade e/ou duração prejudicial	Os efeitos da radiação podem causar um aumento da temperatura e modificações de estrutura de alguns materiais

Tabela 7 – Raios

Essa tabela fornece as referências para classificação quanto à sujeição aos efeitos das descargas atmosféricas diretas e indiretas.

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
AQ1	Desprezível	—	—
AQ2	Indiretos	Riscos provenientes da rede de alimentação	Instalações alimentadas por linhas aéreas
AQ3	Diretos	Riscos provenientes da exposição dos equipamentos	Partes da instalação situadas no exterior das edificações

Figura 1 – Subestação de atendimento à indústria ao tempo com entrada aérea.

Temperatura – AA4
Altitude – AC1
Presença de Água – AD3
Poeira – AE4
Poluição – AF1
Radiação – AN1
Raios – AQ3



Figura 2 – Subestação de distribuição de energia ao tempo com entradas e saídas aéreas ao tempo.

Temperatura – AA4
Altitude – AC1
Presença de Água – AD3
Poeira – AE4
Poluição – AF1
Radiação – AN1
Raios – AQ3



Figura 3 – Subestação de abastecimento rural a consumidores com entradas e saídas aéreas ao tempo.

Temperatura – AA4
Altitude – AC1
Presença de Água – AD3
Poeira – AE4
Poluição – AF1
Radiação – AN1
Raios – AQ3



Nos subitens deste capítulo 9 da norma, ainda podem ser encontradas as advertências de segurança, definindo ao nível de projeto e montagem que devem haver elementos de proteção, a fim de evitar a aproximação de pessoas BA1, BA2, BA3 e de

animais em toda a sua volta.

A tabela que define essas pessoas na classificação anteriormente respeita o princípio de classificação anterior e é dado pela Tabela 8 (Tabela 12 do item 4.3 da norma).

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
BA1	Comuns	Pessoas inadvertidas	—
BA4	Advertidas	Pessoas suficientemente informadas ou supervisionadas por pessoas qualificadas, de modo a lhes permitir evitar os perigos que a eletricidade pode apresentar	Pessoal de manutenção e/ou operação trabalhando em locais de serviço elétrico
BA5	Qualificadas	Pessoas que têm conhecimentos técnicos ou experiência suficiente para lhes permitir evitar os perigos que a eletricidade pode apresentar	Engenheiros e/ou técnicos trabalhando em locais de serviço elétrico fechados

Diretrizes de segurança ao acesso

A especificação dessa proteção deve ser especificada para ter malhas de abertura máxima de 50 mm e deve ser constituída de aço zincado de 3 mm de diâmetro, no mínimo, ou material de resistência mecânica equivalente. Placas com os dizeres “Perigo de morte” e um símbolo em local bem visível do lado externo em todas as faces da proteção externa e junto ao acesso. Com o objetivo de prevenir invasões, o item “9.3.2.4” prescreve que a parte inferior da tela de proteção deve ficar no máximo a 10 cm acima da superfície do solo e, de acordo com o projeto, deve ser metálica e ligada à terra.

Definidos pela classificação da norma ABNT NBR 14039 e ratificado de forma legal pela definição de habilitado e capacitado,



Figura 4 – Placas de aviso devem ser posicionadas em locais visíveis e do lado externo ao acesso.

previamente autorizados na NR 10, os trabalhadores devem ter acesso por meio de porta, abrindo para fora, com dimensões mínimas de 0,80 m x 2,10 m. A porta deve ser provida de fecho de segurança externo, permitindo livre abertura do lado interno.

As instalações ao tempo devem ser dotadas de sistema adequado de escoamento de águas pluviais e, em caso de condições mais severas, estudos que evitem a inundação ou a limitem a níveis que não comprometam os equipamentos, seu funcionamento e a segurança dos trabalhadores, devem ser providenciados.

Da mesma forma que as subestações abrigadas, essas devem ser providas de iluminação de segurança, com autonomia mínima de 2 h, mesmo que alimentadas por fontes externas e independentes.

Vazamentos de líquido isolantes

Há de prever um esquema de proteção contra vazamentos de líquido isolante, atendendo aos regulamentos das autoridades competentes. Vale aqui o mesmo item “5.8.1” para as instalações que tenham equipamentos que contenham mais de 100 litros de líquido isolante: necessária bacia de contenção. Na revisão realizada nessa norma em 2005, temos como medidas adicionais a construção de barreiras incombustíveis entre os equipamentos ou outros meios adequados para evitar a propagação de incêndio, além de dispositivo adequado para drenar ou conter o líquido proveniente de eventual vazamento.

Subestações ao tempo acima da superfície do solo

Por diversas vezes, as subestações de média tensão devem ser projetadas e montadas acima do nível do solo e por vezes ainda em proximidade à passagem de pedestres e animais. É um caso comum as subestações rurais de baixas potências ou subestações reguladoras que não são suportadas pelos arranjos mecânicos usuais de um único poste de concreto ou madeira. A solução passa por um conjunto de ferragens apoiada de dois ou quatro postes simultâneos, como uma pequena estrutura de apoio, recebe uma plataforma montada em vigas e chapas de ferro que, acima do passeio, permitam a montagem de equipamentos de até 1 MVA. Essas instalações são lembradas na norma ABNT NBR 14039 e, pelo seu subitem 9.3.3.1, orienta que todas as partes vivas não protegidas em áreas de circulação de pessoal BA1 – ou desavisados e pessoas comuns – devam estar situadas, no mínimo, a 5 m acima da superfície do solo. Há uma ressalva para distâncias menores:

“Quando não for possível observar a altura mínima de 5 m para as partes vivas, pode ser tolerado o limite de 3,5 m, desde que o local seja provido de um anteparo horizontal em tela metálica ou equivalente, devidamente ligado à terra, com as seguintes características:

- afastamento mínimo de 40 cm das partes vivas;
- malha de 50 mm de abertura, no máximo;
- fios de aço zincado ou material equivalente, de 3 mm de diâmetro, no mínimo.”

Manobras e manutenção dos equipamentos

Normalmente, os projetos de subestações assim prevêm que a operação de suas chaves e dispositivos de proteção seja feita por manobras mecânicas acopladas, devidamente equipotencializadas e identificadas para esse fim. Por vezes, com o auxílio de tecnologia, o comando é feito de forma remota e teleprocessada por centros de operação. Mas, quando houver a previsão e necessidade de acesso dos trabalhadores, o projeto deve prever um espaço livre e de segurança, que permita o acesso de uma pessoa BA4 ou BA5 para fins de manobras, inspeção ou manutenção, com dimensões tais que seja possível a inscrição de um cilindro reto, de eixo vertical, com diâmetro mínimo de 0,60 m e altura suficiente para permitir o acesso às partes mais elevadas. A norma ABNT NBR 5433 ou ABNT NBR 5434 deve ser considerada também nesses casos. Quando em áreas sobre a cobertura de edifícios, inacessíveis a pessoas BA1 ou providas do necessário sistema de proteção externa, não é permitido o emprego de líquido isolante inflamável.

Subestação de transformação e de controle e manobra

É definida aqui a subestação de transformação como aquela destinada a transformar qualquer das grandezas da energia elétrica, em particular, as tensões de trabalho e uso. Sendo assim, a quase totalidade das subestações de entrada de energia, que, em média, está nos centros urbanos, se enquadra nessa classificação. A taxonomia das subestações já

foi discutida anteriormente e aqui em particular temos uma classificação diferente de “abrigada/ao tempo”. Temos o início da classificação “transformação/manobra”. A norma no seu item seguinte define as subestações de controle e manobra como aquelas destinadas a controlar qualquer das grandezas da energia elétrica, ligar ou desligar circuitos elétricos ou, ainda, prover meios de proteção para esses circuitos. Sendo assim, quase todas as subestações de entrada de energia, que são em média tensão nos centros urbanos, se enquadram em uma ou outra classificação, ou em ambas. Nos nossos artigos sobre subestações, partimos da premissa de um entendimento já maduro de seus principais componentes elétricos, mas aqui destacamos os pontos principais da norma ABNT NBR 14039.

Quanto ao meio isolante

A norma chama atenção dos profissionais e projetistas para que quando uma subestação de transformação for parte integrante da edificação, somente será permitido o emprego de transformadores a seco e, quando se fala dos equipamentos de chaveamento sob carga, estes devem ser dotados de líquidos isolantes não inflamáveis. Na sua revisão se fez constar a seguinte recomendação: “9.4.4 Quando a subestação de transformação fizer parte integrante da edificação residencial e/ou comercial, somente é permitido o emprego de transformadores a seco, mesmo que haja paredes de alvenaria e portas corta-fogo. Quando forem utilizados disjuntores com líquidos isolantes não inflamáveis, estes devem ter um volume de líquido por polo inferior a 1 litro”.

A existência de novas tecnologias traz a possibilidade de isolamentos com óleos vegetais, cujas características estão muito próximas dos níveis de segurança desejados. Essas tecnologias devem ser avaliadas pelos projetistas e instaladores de forma a garantir os níveis de segurança necessários e não os desejados.

Óleos vegetais isolantes (OVI)

Os primeiros testes e ensaios desse tipo de isolante aconteceram quase que no mesmo período de realização dos testes com o óleo mineral já conhecido, porém, esses óleos vegetais não se mostraram tão atrativos como o óleo mineral devido à sua estabilidade aos ensaios de oxidação, ponto de fluidez, permissividade e viscosidade. De qualquer maneira, com o advento dos termos “ambiente” e “sustentabilidade” no nosso dia a dia, esses fatores tornaram-se menos problemáticos. Por meio de processos especificamente desenvolvidos para eles, foi possível desenvolver e “aditivar” antioxidantes e depressores de ponto de fluidez, melhorando assim algumas de suas características. Pesquisas mostram que, se lançados para a natureza, os óleos vegetais isolantes apresentam um alto índice de degradação natural, podendo se neutralizarem em menos de um mês.

Isolamento a gás SF6

Hexafluoreto de Enxofre aparece na norma como orientação e

solução sempre que a subestação for parte integrante da edificação industrial. Ao lado do sistema de isolamento a vácuo, o SF6 não só não agride ao ambiente, como, durante a operação dos equipamentos, se regenera mantendo suas características e baixando significativamente as necessidades de sua reposição ou troca. Descoberto basicamente por acaso nos anos 1960, esse gás possui duas vezes e meia a rigidez dielétrica do ar em pressão natural, o que é expressivamente maior quando sob pressão. Isso tornou possível o desenvolvimento de produtos isolados com dimensões significativamente menores, atendendo a áreas urbanas de custo mais alto por metro quadrado destinado às instalações elétricas, assim como as tornando mais limpas e seguras. Segurança de projeto para manobras

Posições

Há um cuidado especial quanto aos profissionais que devem operar as instalações elétricas e, nesse caso, falamos de excesso de compactação e uso do pouco espaço destinado às instalações elétricas. O subitem 9.4.6 determina que quando o dispositivo de manobra, que alimenta um equipamento, estiver em uma posição não visível ao operador deste equipamento, deve ser empregada uma chave desligadora junto a ele. Isso deverá dar as garantias operacionais que, no caso de a manobra de desligamento não for bem-sucedida, outro dispositivo apoiará o isolamento necessário. Nesse item é comentado ainda sobre intertravamentos.

Travas

Os intertravamentos entre equipamentos visam a aumentar e garantir a segurança das manobras e dos próprios equipamentos nos seus limites e sequências de operação. Por diversas vezes, o isolamento de um equipamento ou linha de serviço é feito por abertura de chaves seccionadoras e disjuntores. Estes últimos são capazes de operar sob carga. A manobra de chaves seccionadoras não preparadas para correntes nominais ou ainda de energização de transformadores deve ser condicionada à garantia de disjuntor aberto ou desligado. Isso se faz por observação e anotações, mas a garantia final se daria com um sistema de travamento interligado entre esses equipamentos, ou simplesmente, intertravamento. No subitem 9.5.4, a norma lembra mais um quesito de segurança para apoiar esse recurso quando define que não é permitido o emprego exclusivo de intertravamentos realizados por dispositivos repetidores de estado dentro de circuitos de bloqueio elétricos exclusivamente, em que possíveis falhas desses bloqueios elétricos ocasionem danos a pessoas ou coisas. Quando os equipamentos não forem próximos fisicamente e o intertravamento mecânico não for possível, a execução do intertravamento elétrico deve ser complementada com outra medida redundante.

Proteções adicionais

As proteções dos equipamentos sempre seguem as melhores práticas de projeto, estudos de operacionalidade e produção, adequação ao sistema elétrico das fontes e aqui na norma temos um aditivo que prevê segurança operacional. No item “6.5.2.1



Figura 5 – Isolamento a gás SF6.

Transformadores de tensão”, temos a diretriz de incluir em projeto nos secundários dos transformadores de tensão uma proteção contra os defeitos a jusante por fusíveis de baixa tensão. A exceção é dada a casos de equipamento do concessionário de distribuição de energia. Estes fusíveis devem ser colocados em um equipamento com tranca, de modo que o acesso ao equipamento deva ser feito apenas após seccionamento de seu circuito primário, desenergizando pelo lado da alta tensão. Isso não dispensa os cuidados com tensões de retorno.

São muitos os tópicos que abordam o tema “subestações de energia”, mas ficam aqui os itens mais visíveis e referenciados na norma ABNT NBR 14039.

Como comentado em todos os artigos, proponho uma abordagem isolada e integrada e sempre aplicada a casos práticos para a garantia da continuidade das discussões no fórum estabelecido após o início do lançamento de cada periódico. A leitura dos artigos deverá ser complementada pelo fórum, e nunca se esgotar como a “verdade” absoluta e inequívoca.

A leitura dos artigos deverá ser complementada pelo fórum e sempre prever que o esgotamento do assunto não ocorra. O fórum pode ser acessado em www.osetoreletrico.com.br, no link dedicado a este fascículo, ou ainda no site <http://ecthos.nucleoead.net/moodle/login/index.php>. Participe!

**MARCUS POSSI é engenheiro electricista e diretor da Ecthos C&D. Possui cerca de 20 anos de experiência na construção e gerenciamento de obras de subestações e usinas em média e alta tensão no Rio de Janeiro. É secretário da norma ABNT NBR 14039 – Instalações de Média Tensão de 1KV até 36,2 kV.*

Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeditorial.com.br