

## Capítulo II

# Avanços na especificação e aplicação dos resistores de aterramento do neutro dos sistemas elétricos industriais em média tensão

Paulo Fernandes Costa\*

O capítulo anterior tratou dos aspectos conceituais mais importantes que dizem respeito à escolha do tipo de resistor para a aplicação em questão. Foi mostrado que em sistemas elétricos industriais de baixa tensão aplica-se resistor de alto valor ôhmico, que não exige o desligamento imediato do sistema na ocorrência de uma falta à terra, enquanto na maioria dos sistemas de média tensão deve ser aplicado resistor de baixo valor ôhmico, que, ao contrário, exige o desligamento imediato do sistema na ocorrência da falta à terra. Neste segundo artigo, serão discutidos os critérios de especificação dos resistores para sistemas elétricos industriais de média tensão, isto é, os resistores de baixo valor ôhmico.

### Avanços na aplicação de resistores de baixo valor ôhmico

Por muitas décadas os resistores de baixo valor ôhmico têm sido aplicados em sistemas de média tensão e algumas modificações importantes na sua aplicação ocorreram bem recentemente, um pouco mais de uma década. As modificações mais importantes referentes à aplicação podem ser descritas da seguinte forma:

- Em sistemas de média tensão, uma vez definida a aplicação de resistores de baixo valor ôhmico e, conseqüentemente, desligado o sistema durante uma falta à terra, a corrente escolhida para limitação, além de atender ao critério de ser igual ou superior à corrente capacitiva, deve atender ainda a outro critério: o de fornecer corrente suficiente para operação segura da proteção de falta à terra.
- Até a entrada em operação dos relés digitais modernos, uma década atrás, utilizavam-se relés de proteção eletromecânicos para proteção de falta à terra. Estes relés possuíam alto consumo, notadamente quando ajustados em baixas correntes, não sendo possível utilizar transformadores de corrente toroidais de baixa relação de transformação para sua alimentação. A solução era aumentar a corrente de falta à terra, o que possibilitava também aumentar a relação dos TCs toroidais e, por conseguinte, sua potência.
- Até esta época, os valores de limitação eram bastante elevados, sendo padrão os valores de 400 A, 600 A, 800 A, 1.000 A e maiores.
- Atualmente, a situação se modificou, os relés digitais possuem baixíssimo consumo, permitindo utilizar TCs toroidais de baixa relação, com baixa

potência. Com esta solução pode-se utilizar atualmente níveis de limitação reduzidos, desde que atendam aos quesitos de dimensionamento estipulados anteriormente. Os valores mais utilizados na atualidade são: 25 A, geralmente aplicado em sistemas de mineração e, para sistemas industriais, os valores de 50 A, 100 A, 150 A, 200 A e 300 A.

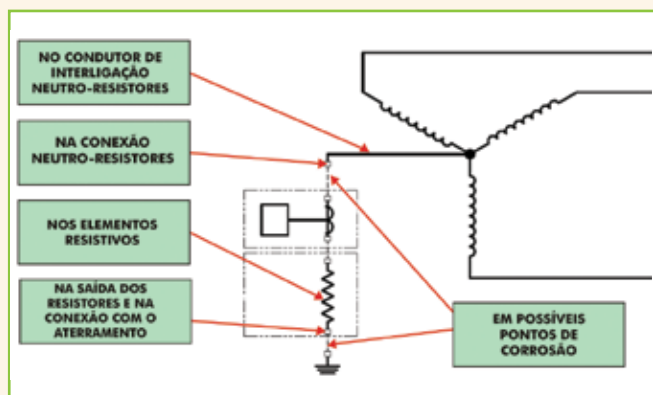
- Ao substituir um resistor de 400 A por outro de 50 A, com atendimento aos critérios de dimensionamento, a corrente de falta à terra é reduzida oito vezes e os efeitos térmicos e dinâmicos, que variam com o quadrado da corrente, são reduzidos em 64 vezes.
- Com a utilização de recursos modernos, como o emprego de relés digitais que permitem utilizar a seletividade lógica, e ainda com a aplicação de relés de sobrecorrente associados a relés e sistemas de detecção de arco, recursos estes que permitem reduzir significativamente o tempo de desligamento do sistema durante faltas à terra, é possível evitar a evolução da falta à terra para faltas entre fases em sistemas com resistor de baixo valor ôhmico. Como a rapidez da evolução depende do valor da corrente de arco, limitar o curto em valores mais baixos auxilia significativamente no processo de evitar a referida evolução. Se o valor da corrente de limitação for elevado e a evolução ocorrer,

por exemplo, dentro de um quadro de manobra, mesmo com o desligamento rápido, podem ocorrer paralizações necessárias para limpeza dos isoladores e alguns reparos.

- Outro aspecto importante da aplicação dos resistores de baixo valor ôhmico na atualidade diz respeito ao reconhecimento da absoluta necessidade de supervisionar continuamente a integridade do circuito neutro-resistor-terra, uma vez que, se este circuito for interrompido e ocorrer uma falta à terra, muitos equipamentos podem ser danificados por sobretensões transitórias. Existem vários casos reais e recentes destas ocorrências, envolvendo queima de transformadores e motores em sistemas de média tensão.

A Figura 1 ilustra as possibilidades de ruptura do circuito neutro-resistor-terra. A ênfase em supervisionar continuamente o circuito deve ser explicada, uma vez que existem circuitos utilizando relés de sobrecorrente e sobretensão associados a TCs e TPs, que realizam a supervisão somente no momento da ocorrência da falta à terra, o que não é aceitável. De fato, se houver uma ruptura do circuito neutro-resistor-terra antes da ocorrência da falta à terra, situação esta que não é detectada pelo sistema de proteção/supervisão descrito, o sistema elétrico

poderá ser submetido a sobretensões transitórias no momento da falta à terra, antes do desligamento pelas proteções.



**Figura 1 – Algumas possibilidades de interrupção do circuito neutro-resistor-terra.**

A supervisão contínua deve ser executada utilizando circuito digital apropriado que faça a circulação permanente de uma corrente por meio do circuito neutro-resistor-terra e não somente pelo resistor. O circuito de supervisão pode ser adaptado em resistores existentes como forma de “retrofit”. A Figura 2 traz ilustrações de resistores danificados.

As causas da ruptura do circuito neutro-resistor-terra são diversas, como sobretensões transitórias (descargas atmosféricas, chaveamentos), sobrecargas além do tempo suportável, vibrações no transporte e na operação normal, vida útil vencida, corrosão, defeitos de fabricação, defeitos de montagem e outros.

### Especificação dos resistores de baixo valor ôhmico

Na especificação dos resistores de baixo valor ôhmico para aterramento do neutro de sistemas de média tensão, devem ser observados no mínimo os seguintes aspectos:

- Estimar o valor da corrente capacitiva do sistema em que será aplicado o resistor, por medição ou por cálculo, conforme

orientações do artigo anterior.

- Acrescentar ao valor estimado cerca de 20% a 30% para atender a eventual crescimento futuro do sistema.
- Utilizar o valor padronizado mais próximo do valor estimado (valores como 25 A, 50 A, 100 A, 150 A, 200 A, 300 A, 400 A). Observar que, ao optar pela padronização, o valor padronizado pode atender ao percentual de crescimento desejado para o sistema, não sendo necessário acrescentar os percentuais sugeridos no item anterior.
- Evitar especificar derivações nos resistores, o que os encarece desnecessariamente. É preferível substituir o resistor no futuro, se houver acréscimo muito grande da corrente capacitiva do sistema, o que raramente acontece.
- Definir o tipo de resistor, o material de sua fabricação e a sua temperatura de trabalho de acordo com o tempo ou regime de carga a que será submetido. A IEEE Std 32, que é praticamente a única norma estruturada que contém capítulo que rege o fornecimento de resistores para aterramento do neutro, estabelece as informações contidas na Tabela 1. Deve ser observado que o material para confecção de resistores, cujo regime de operação não é contínuo, é definido na norma como sendo o aço inox. Para resistores de uso contínuo, a referida norma não estabelece o tipo de material que deve ser aplicado. Para resistores de alto valor ôhmico, pode-se, em tese, aplicar a classificação de tempo estendido (extendend-time rating), que significa que o resistor pode ser submetido a tempo de carga superior a 10 minutos, com a restrição de que o número de vezes que isto acontece não seja superior a 90 dias no ano. No entanto, devido a questões de segurança (temperatura do invólucro, que pode ser tocado inadvertidamente com o resistor em carga), é preferível utilizar regime contínuo que fornece temperaturas bem menores para os elementos resistivos e, conseqüentemente, para os invólucros.



**Figura 2 – Exemplos reais de resistores interrompidos.**

**TABELA 1 – INFORMAÇÕES SOBRE RESISTORES PARA ATERRAMENTO DO NEUTRO**

Regime de funcionamento	Temperatura final permitida nos elementos resistivos, considerando temperatura ambiente inicial de 30 0C	Observação
Curto tempo 1 minuto	760 0C	Material: aço inox
Curto tempo 10 segundos	760 0C	Material: aço inox
Regime estendido (extended time rating)	610 0C	Material: aço inox
Contínuo	385 0C	Material: não definido

- A chapa estrutural do invólucro metálico dos resistores não deve ser inferior a 12 USG (2,78 mm), enquanto a chapa de fechamento não deve ser inferior a 14 USG (1,98 mm). Observa-se que a fragilidade dos invólucros dos resistores constitui uma das principais causas de rompimento dos elementos resistivos, bem como de alguns outros danos sofridos por eles.
- Para os resistores de média tensão de baixo valor ôhmico, deve ser solicitado o teste de tensão aplicada, bem como devem ser mantidas as distâncias entre qualquer parte energizada do resistor e o invólucro metálico de acordo com o estabelecido na tabela 21 da norma ABNT NBR 14039, cujos valores são reproduzidos na Tabela 2. Observe que para resistores não se aplica o teste de impulso atmosférico (Tensão Suportável de Impulso, TSI). Os valores de TSI que os equipamentos de média tensão devem suportar estão também presentes na mesma tabela da norma em questão, mas se aplicam a outros equipamentos não resistores para aterramento do neutro, e por isso foram suprimidos da Tabela 2.

**TABELA 2 – DISTÂNCIAS MÍNIMAS X TENSÃO NOMINAL DA INSTALAÇÃO**

Tensão nominal da instalação (kV)	Tensão de ensaio à frequência industrial (kV)	Distância mínima fase terra (mm)
3	10	60
4,16	19	60
6	20	90
13,8	34	160
23,1	50	160
34,5	70	270

- Deve ser informado na especificação o tipo de invólucro a ser fornecido, que deve ser apropriado para as condições do ambiente de instalação (grau IP). Observe que o grau de proteção IP 54 atende à exigência de impedimento de entrada de pó e de água (projeção), sendo adequado para uso ao tempo. Para ambientes abrigados sem presença de pó, é suficiente utilizar o grau IP 23.
- Para resistores especificados para regime de curto tempo, deve ser solicitado que o fabricante forneça a capacidade de corrente em regime contínuo, para eventualmente acomodar correntes harmônicas presentes principalmente em aplicações nas quais existem acionamentos com velocidade variável (inversores de frequência) no

nível de tensão de aplicação do resistor. Em geral, esta capacidade é de, no mínimo, 10% da capacidade de curta duração do resistor para resistores construídos com apenas uma camada de elementos, sendo 8% para construções com mais de uma camada.

### Conclusão

Este artigo abordou as principais modificações que devem ser introduzidas na especificação dos resistores de aterramento do neutro em sistemas de média tensão, principalmente devido à introdução nestes sistemas de relés digitais, inversores de frequência, e também do aumento de conhecimento dos fenômenos transitórios que podem ocorrer durante uma falta à terra. A redução do valor de limitação e a constatação da obrigatoriedade da supervisão correta e permanente da integridade do circuito neutro-resistor-terra são dignos de destaque. Deve ser destacado também que os resistores devem ser inerentemente robustos, não sendo aceitável uma especificação que permita um fornecimento de conjuntos mecanicamente e eletricamente frágeis. O custo dos resistores quando comparado ao dos equipamentos principais do sistema elétrico é irrisório e sua falha pode resultar em falhas destes equipamentos principais, tendo como consequência a paralisação da produção e perdas associadas.

### Referências

- COSTA, P. F. "Redução dos riscos proporcionados pelos arcos elétricos". *Eletricidade Moderna*, dez. 2009.
- SELKIRK, D.; SAVOSTIANIK, M.; CRAWFORD, K. "Why neutral: grounding resistor need continuous monitoring". *IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference*, 2008.
- Catálogo Técnico: Resistor de aterramento em média tensão com supervisão de continuidade "on-line" modelo RAM-SC2. Disponível em: <www.seniorequipamentos.com.br>.
- Catálogo Técnico: "Upgrade" para monitorar a continuidade do circuito neutro-terra em resistores de aterramento em média tensão existentes. Disponível em: <www.seniorequipamentos.com.br>.
- SELKIRK, D.; SAVOSTIANIK, M.; CRAWFORD, K. "The dangers of grounding resistor failures". *IEEE Industry Application Magazine*, Sep./Oct. 2010.
- ANSI/IEEE Std 32-1972 (Reaffirmed 1990), *Neutral Grounding Devices "IEEE Std Requirements, Terminology, and Test procedures for Neutral Grounding Devices"*.

\*PAULO FERNANDES COSTA é Engenheiro Eletricista e Msc pela Universidade Federal de Minas Gerais, professor aposentado dos cursos de engenharia elétrica da UFMG e CEFET-MG e diretor da Senior Engenharia e Serviços LTDA, Belo Horizonte-MG. É palestrante e autor de vários artigos na área de aterramento, proteção, segurança, qualidade de energia e sistemas elétricos industriais em geral. Atua como consultor, bem como na área de desenvolvimento tecnológico, com experiência de mais de 40 anos. E-mail: pcosta@seniorengenharia.com.br.

#### Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br)  
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail [redacao@atitudeeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeeditorial.com.br)