

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE CONCRETO COM RESTOS DE METAIS EM SISTEMAS DE ATERRAMENTO PARA REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Matheus Clintom Ramalho Cunha¹, Matheus Gomes Arruda², Márcio Augusto Tamashiro³, Humberto Rodrigues Macedo⁴, Kaison Teodoro de Souza⁵, Antonio Marcelino da Silva Filho⁶

¹Estudante do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica – IFTO *Campus* Palmas. Bolsista do Programa de Iniciação Científica IFTO. e-mail: <matheus.cunha2@estudante.ifto.edu.br>

²Engenheiro eletricitista e técnico administrativo em educação do IFTO *Campus* Palmas. email: <matheus.arruda@ifto.edu.br>

^{3,4,5}Professores EBTT do IFTO *Campus* Palmas. e-mail: <tamashiro@ifto.edu.br>; <humberto.macedo@ifto.edu.br>; <kaison@ifto.edu.br>

⁶ Professor EBTT do IFTO *Campus* Palmas. Orientador. e-mail: <marcelino.filho@ifto.edu.br>

1 INTRODUÇÃO

Sistema de aterramento elétrico é definido como uma ligação elétrica intencional de circuito ou equipamento elétrico ao solo, constituído de três componentes principais: (i) conexões elétricas entre eletrodos e o ponto do sistema que se deseja aterrar; (ii) eletrodos de aterramento e (iii) o solo que os envolve. Os objetivos do sistema de aterramento são fornecer caminho seguro para correntes de defeito, reduzir o risco de choque elétrico e obter valor de resistência de aterramento menores para correntes de falta à terra (IEEE, 2015; IEEE, 2019; KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

Valores reduzidos da resistência de aterramento possibilitam caminho de baixa impedância para as correntes de falta serem dispersadas para o solo no menor tempo possível, evitando que os potenciais no solo ultrapassem os limiares de segurança (ANDROVITSANEAS et al., 2016; IEEE, 2015). Entretanto, por questões de espaço e/ou inviabilidade econômica, nem sempre é possível reduzir a resistência de aterramento adicionando mais eletrodos. A solução alternativa é aumentar o diâmetro efetivo da haste modificando o solo ao seu redor (IEEE, 2015). Este método consiste em envolver os eletrodos de aterramento com materiais de melhoramento de sistemas de aterramentos elétricos (MMSAE) para redução da resistência de aterramento (ANDROVITSANEAS et al., 2012).

A norma IEEE Std 80 de segurança do aterramento em subestação recomenda como MMSAE a bentonita e o concreto, além de tratamento químico do solo ao redor da haste (IEEE, 2015). Os MMSAEs devem possuir estrutura rígida a fim de permitir conexão entre o condutor e a terra, diminuindo assim a resistência de contato entre o solo e o eletrodo (IEEE, 2015; LAI et al., 2017; TU et al., 2006). Como as propriedades do solo circundante à haste afetam diretamente a eficiência do sistema de aterramento, a aplicação de MMSAE se constitui em solução para manter reduzidos os valores da resistência de aterramento (ANDROVITSANEAS et al., 2012).

Diversos estudos têm explorado o uso de MMSAE no encapsulamento de hastes de aterramento elétrico, considerando fatores como higroscopia, contato entre eletrodo e MMSAE e teor de umidade em diferentes condições climáticas. No entanto, existe a lacuna de pesquisa no uso de restos de metais oriundos de processos de usinagem adicionados à misturas de cimento e areia como MMSAE. Além disso, ressalta-se que os restos de metais acrescentados à mistura se constituem de subproduto resultante do processo industrial e, portanto, permite a fabricação de MMSAE sustentável e de baixo custo.

2 OBJETIVO

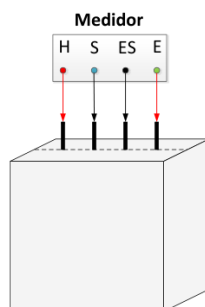
O objetivo deste trabalho é analisar a aplicabilidade de misturas de cimento e areia com restos de metais em sistemas de aterramento para redução dos valores de resistência elétrica de aterramento. Os metais utilizados são ferro e alumínio, oriundos de processos de usinagem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia proposta neste trabalho se constitui de experimentos laboratoriais de bancada para analisar a eficiência dos MMSAEs propostos em reduzir os valores da resistência elétrica, para aplicação em sistemas de aterramento. Os três MMSAE propostos são: (i) concreto (para referência de comparação), (ii) mistura de cimento, areia e restos de alumínio e (iii) mistura de cimento, areia e restos de ferro.

No experimento de bancada, corpos de prova são produzidos em triplicata e a resistência elétrica é obtida através do método de Wenner, como ilustrado na Figura 1. O medidor de resistência de aterramento (terrômetro) injeta corrente elétrica I a partir do conector H, a qual retorna ao aparelho no conector E. A tensão V é coletada nos conectores S e ES. Com os valores de corrente e tensão, obtém-se a resistência elétrica. Esta medição é realizada periodicamente devido a característica higroscópica destes compostos, uma vez que o teor de umidade influencia nos valores de resistência elétrica.

Figura 1 – Medição da resistência elétrica no experimento de bancada.



Fonte: os autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a produção dos MMSAE, foram utilizados traços definidos em volume dos materiais empregados. No caso do concreto, foi adotada a proporção tradicionalmente utilizada de cimento:areia:brita igual a 1:2:3. Por sua vez, o MMSAE constituído da mistura de cimento e areia com restos de alumínio foi produzido utilizando-se o traço cimento:areia:alumínio igual a 1:2:1,3 enquanto que o MMSAE constituído da mistura de cimento e areia com restos de ferro foi fabricado utilizando-se o traço 1:2:2,25 (cimento:areia:ferro). Os restos de alumínio e ferro foram obtidos em uma indústria de retífica de motores de carro situada na cidade de Palmas.

Os valores de resistência elétrica dos MMSAE foram obtidos aplicando o arranjo de Wenner aos eletrodos dos corpos de prova, como ilustrado na Figura 2, na qual a corrente elétrica I é injetada pelo terrômetro nos eletrodos externos e a tensão V é coletada nos eletrodos internos, obtendo-se assim os valores de resistência elétrica.

As medições da resistência dos MMSAEs foram realizadas semanalmente, durante 45 dias, conforme ilustrado na Figura 3, na qual são apresentados os valores médios da resistência elétrica dos corpos de prova durante o período de medição. Observou-se que os valores de resistência elétrica dos MMSAE propostos foram menores do que o concreto, tido como referência de comparação, com exceção da última medição realizada no dia 45, na qual verificou-se que a resistência da mistura de cimento, areia e alumínio foi maior que a do concreto. Este aumento

ocorreu provavelmente em virtude da perda de umidade do MMSAE com alumínio. Complementarmente, durante o processo de produção do MMSAE com alumínio observou-se aumento da temperatura dos corpos de prova, o que indica que a adição de alumínio ao cimento e areia provoca uma reação exotérmica.

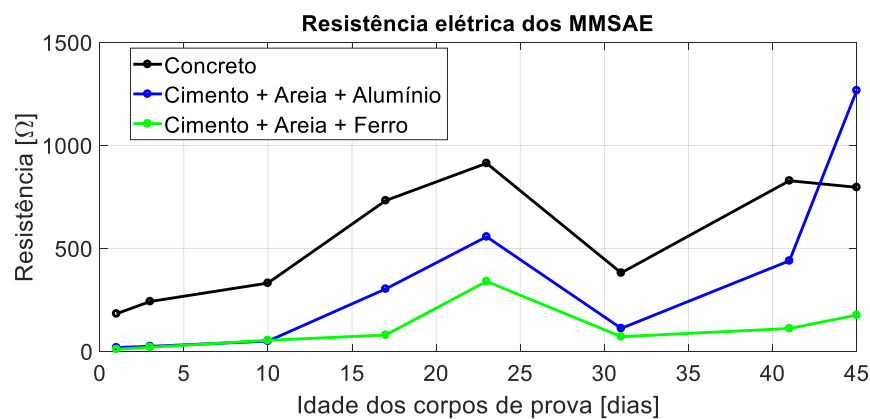
Por outro lado, verificou-se que a mistura de cimento, areia e restos de ferro apresentou melhores resultados, com valores de resistência menores que o concreto e a mistura de cimento, areia e alumínio durante todo o período de medição.

Figura 2 – Medição da resistência elétrica dos corpos de prova dos MMSAE.



Fonte: os autores.

Figura 3 – Resistência elétrica dos MMSAE medida ao longo de 45 dias.



Fonte: os autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que a adição de restos de alumínio e ferro à mistura de cimento e areia contribui para a redução da resistência elétrica e, conseqüentemente, indicam a sua viabilidade de utilização no encapsulamento de hastes para a redução da resistência de aterramento. Por fim, sugere-se como trabalhos futuros estudos de campo com estes materiais e a análise de diferentes traços envolvendo ferro e alumínio adicionados ao concreto e às misturas de cimento e areia, para verificação do

composto mais eficaz para aplicação em sistemas de aterramento com vistas à redução da resistência e, conseqüentemente, aumento da segurança nas instalações elétricas.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPT e ao IFTO pelo fomento e apoio na execução de projeto, que viabilizou a realização desta pesquisa, bem como pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

ANDROVITSANEAS, V. P.; GONOS, I. F.; STATHOPULOS, I. A. **Experimental study on transient impedance of grounding rods encased in ground enhancing compounds.** Electric Power Systems Research, v. 139, p. 109–115, 2016.

ANDROVITSANEAS, V. P.; GONOS, I. F.; STATHOPULOS, I. A. **Performance of ground enhancing compounds during the year.** In: 2012 31st International Conference on Lightning Protection (ICLP). Vienna, Austria: IEEE, 2012.

IEEE. **IEEE Std 80-2013: IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.** New York: IEEE, 2013;

IEEE. **IEEE Std 3003.1-2019: Recommended practice for system grounding of industrial and commercial power systems.** New York: IEEE, 2019;

KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. **Aterramento Elétrico.** Porto Alegre: Sagra - D.C. Luzzato, 1995;

LAI, W. L.; AHMAD, W. F. H. W.; JASNI, J.; KADIR, M. Z. A. A. **A review on the usage of zeolite, perlite and vermiculite as natural enhancement materials for grounding system installations.** In: 2017 IEEE 15th Student Conference on Research and Development (SCOREd). Malásia: IEEE, 2017.

TU, Y.; HE, J.; ZENG, R. **Lightning impulse performances of grounding devices covered with low-resistivity materials.** IEEE Transactions on Power Delivery, v. 21, n. 3, p. 1706–1713, 2006.