



ISSN: 2447-5580

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>



ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

# OTIMIZAÇÃO DO EFEITO DA APLICAÇÃO DO EXOGEL COM ALTERAÇÃO NA COMPOSIÇÃO BASE

## *OPTIMIZATION OF THE EFFECT OF THE APPLICATION OF EXOGEL WITH AMENDMENT IN THE BASIC COMPOSITION*

Nayara Montella da Silva<sup>1\*</sup>; Elisa Barbosa Marra<sup>2</sup>; Moisés Teles Madureira<sup>3</sup>; Raphael Alves dos Santos<sup>4</sup>; Luiz Felipe Caraméz Berteges<sup>5</sup>; Luciene Pinto Soares<sup>6</sup>

<sup>1,2,3</sup> Curso de Engenharia Química da Universidade de Vassouras, Vassouras, RJ, Brasil.

<sup>4</sup> Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Vassouras, Vassouras, Brasil, RJ

<sup>5</sup> Curso de Engenharia de Produção, Universidade de Vassouras, Vassouras, Brasil, RJ

<sup>6</sup> Engenharia Ambiental, Universidade de Vassouras, Vassouras, Brasil, RJ

\*[nayaramontella@hotmail.com](mailto:nayaramontella@hotmail.com)

### ARTIGO INFO.

Recebido em: 11/11/2018

Aprovado em: 14/11/2018

Disponibilizado em: 24/04/2019

#### PALAVRAS-CHAVE:

Resistividade, Óxido de Ouro III, Exogel.

#### KEYWORDS:

Resistivity; Gold oxide III; Exogel.

Copyright © 2019, Silva et al. Esta obra está sob uma Licença Creative Commons Atribuição-Uso.

\*Autor Correspondente: Nayara Montella da Silva

### RESUMO

O para-raios atua de modo que a descarga atmosférica possa entrar ou sair do solo sem passar através das partes condutoras da estrutura ou através de seus ocupantes, não danificando-os ou causando acidentes. Porém, sua eficiência depende de o solo onde o aterramento seja feito, esteja com uma baixa resistividade, ou seja, dentro dos valores de Ohms permitidos para segurança pela ABNT NBR 7117 e ABNT NBR 5419. O exogel é utilizado para tratamento dos solos onde a resistividade está acima da permitida. Ele apresenta características técnicas excepcionais para o aterramento tendo em vista sua formulação à base de óxidos, o mesmo possui boa condutividade elétrica (dispersão elétrica), alto grau de higroscopia, estabilidade no valor da resistência

de aterramento, além de não agredir o solo. O objetivo do artigo é otimizar a funcionalidade do exogel, substituindo o Óxido de Sódio pelo óxido de Ouro III, de forma que o mesmo diminua ainda mais a resistividade do solo sem agredi-lo. A escolha do componente a ser substituído e do substituto, deu-se através de pesquisa bibliográfica. Obtendo-se resultado satisfatório.

### ABSTRACT

The lightning arrester operates so that the atmospheric discharge can enter or leave the ground without passing through the conductive parts of the structure or through its occupants, not damaging them or causing accidents. However, its efficiency depends on the ground where the grounding is done, it is with a low resistivity, that is, within the values of Ohms allowed for safety by ABNT NBR 7117 and ABNT NBR 5419. Exogel is used to treat soils where resistivity is above permitted. It presents exceptional technical characteristics for grounding due to its oxide-based formulation, it has good electrical conductivity (electrical dispersion), high degree of hygroscopy, stability in the value of the ground resistance, besides not attacking the ground. The objective of the article is to optimize the functionality of exogel by replacing Sodium Oxide with Gold Oxide III, so that it will reduce even more the resistivity of the soil without attacking it. The choice of the component to be replaced and the substitute, was done through bibliographic research. Obtaining itself satisfactory result.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 4.0 Internacional. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC.

## INTRODUÇÃO

É possível que as descargas elétricas atmosféricas tenham contribuído para a geração de moléculas orgânicas necessárias à formação de qualquer forma de vida. Harland & Hacker (1966), registraram a formação de fósseis por descargas elétricas há 250 milhões de anos atrás. Historicamente, descargas elétricas e trovões foram objetos de adoração e fascínio por civilizações antigas. Por exemplo, Gary (1994) e Rakov & Uman (2003) fazem uma revisão de perspectivas mitológicas de descargas em diferentes culturas. Além disto, uma tempestade elétrica constitui um fenômeno atmosférico de beleza ímpar. Entretanto, a ocorrência de descargas elétricas atmosféricas pode gerar transtornos para a sociedade. As descargas podem provocar colapsos ou desligamentos na rede de distribuição de energia elétrica, incêndios, acidentes na aviação e embarcações marítimas, danos aos sistemas de telefonia e de telecomunicações podendo, inclusive, provocar mortes de seres humanos e de animais. O Brasil, devido a sua grande extensão territorial e pelo fato de estar localizado em uma região predominantemente tropical, é um dos países de maior ocorrência de descargas do planeta. Estima-se que cerca de 100 milhões de descargas nuvem-solo ocorram no Brasil por ano, o que significa três descargas por segundo (PINTO JR. & PINTO, 2000).

Os raios podem ser do tipo em nuvem e nuvem-terra. Os raios em nuvem, podem acontecer de três formas: intra nuvem (que ocorre no interior de uma mesma nuvem), nuvem-nuvem (que ocorre entre duas nuvens) e descargas para o ar (que ocorrem da nuvem para o ar). Já os raios tipo nuvem-terra, podem ser denominados nuvem-solo ou solo-nuvem, variando com o sentido do movimento da carga que os origina

Os tipos de descargas atmosféricas considerados nesse artigo, são os que tem contato com o solo. Raios nuvem-solo são raios que acontecem na maioria das vezes. Solo-nuvem, são mais raros. Os raios também podem ser classificados de acordo com a polaridade da carga que inicia a descarga, como negativos ou positivos. A maioria das descargas nuvem-solo é negativa, assim os raios transferem cargas negativas da nuvem para o solo. Os raios positivos, partem de uma região de polaridade positiva da nuvem e comumente são mais perigosos, pois a corrente contínua dura mais tempo e carrega mais energia. (SABER ELÉTRICA, 2018)

Para se alcançar o objetivo de blindar uma estrutura, seus ocupantes e conteúdos, é necessário se obter sistemas de proteção em regiões onde se pretende diminuir os danos causados pelas descargas atmosféricas. Os principais componentes para um sistema de proteção contra essas descargas são terminais de aterramento, terminais aéreos, condutores de descida, condutores



de ligação equipotencial. Os terminais aéreos, são mais conhecidos como para-raios e nada mais são que, hastes condutoras rígidas, montadas em uma base com objetivo de capturar relâmpagos. Eles devem ser instalados nos pontos mais altos da estrutura. Algumas vezes, estas hastes são interligadas através de condutores horizontais. Os condutores de descida são cabos que conectam os terminais aéreos aos terminais de aterramento. Os terminais de aterramento são condutores que servem para conectar os condutores de descida ao solo. Eles são tipicamente condutores de cobre ou revestidos com cobre enterrados no solo. O nível de aterramento depende bastante das características do solo. Os condutores de ligação equipotencial, por sua vez, são condutores que visam igualar o potencial entre os diferentes condutores para impedir descargas laterais.

Porém, a eficiência dos para-raios deve-se ao aterramento, que para ser feito, precisa que o solo, esteja em baixas condições de resistividade (INPE, 2018).

Aterramento significa acoplamento permanente de partes metálicas com o propósito de formar um caminho condutor de eletricidade tanto quanto assegurar continuidade elétrica e capacitar uma condução segura qualquer que seja o tipo de corrente. A conexão terra é na realidade a interface entre o sistema de aterramento e toda a terra, e é por esta interface que é feito o contato elétrico entre ambos (“terra” e sistema de aterramento). Através desta interface passarão os eventos elétricos para o mencionado sistema. Estes eventos elétricos incluem energia (surtos e transientes) e a energia proveniente das descargas atmosféricas. O aterramento é obrigatório e a baixa qualidade ou a falta do mesmo invariavelmente provoca queima de equipamentos. Suas características e eficácia devem satisfazer às prescrições de segurança das pessoas e funcionais da instalação. O valor da resistência deve atender as condições de proteção e de funcionamento da instalação elétrica. Conforme orientação da ABNT NBR 7117 e da ABNT NBR 5419, a resistência deve atingir no máximo 10 Ohms, quando equalizado com o sistema de para-raios ou no máximo 25 Ohms quando o sistema de para-raios não existir na instalação. Os sistemas de aterramento devem ser realizados de modo a garantir a melhor ligação com a terra. Os principais são: uma haste simples cravada no solo, hastes alinhadas, hastes em triângulo, hastes em quadrado, hastes em círculos, placas de material condutor enterrado no solo (exceto o alumínio), fios ou cabos enterrados no solo. O sistema mais eficiente de aterramento é o sistema de malha de terra (NOGUEIRA, 2006)

A resistividade do solo é uma medida de quanto o solo resiste ao fluxo de eletricidade. É um fator crítico na concepção de sistemas que dependem da passagem de corrente através da



superfície terrestre. A resistividade do terreno depende dos vários fatores, como a composição do solo, umidade, temperatura, etc. Geralmente, o solo não é homogêneo, e sua resistividade varia com a profundidade. O solo com baixa resistividade é bom para projetar o sistema de aterramento. Esta mesma resistividade, varia com a profundidade. As camadas mais baixas do solo têm maior teor de umidade e menor resistência. Se a camada inferior contiver camadas duras e rochosas, a sua resistividade pode aumentar com a profundidade. (RW ENGENHARIA, 2017).

A medida que as partículas aumentam de tamanho, o valor da resistividade, também aumenta. Por isso, o cascalho tem uma resistividade maior que a argila, por exemplo. Toda essa explicação teórica é de grande importância para o entendimento acerca do gel despolarizante (exogel). Seu objetivo é dar tratamento ao solo onde a resistividade é muito alta, impedindo a eficiência do aterramento e assim, impossibilitando o funcionamento do para-raios. Além do benefício na parte elétrica, o gel também é sustentável, isso porque, é composto em sua maioria por argilominerais que se integram ao solo sem agredi-lo, seus principais componentes são: dióxido de silício, óxido de alumínio, óxido de ferro, óxido de potássio, óxido de sódio, óxido de cálcio, óxido de magnésio. Também tem baixo índice de lixiviação, o que contribui para a durabilidade do seu efeito no solo. Tendo custo acessível tornando sua aplicação viável (ELETRICISTA CONSCIENTE, 2017).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a otimização da funcionalidade do exogel, foi utilizada pesquisa bibliográfica, além de entrevistas com corpo técnico docente. A pesquisa foi realizada através de artigos e dissertações. Cada composto do exogel foi analisado afim de que fosse encontrado outra substância onde a condutividade elétrica pudesse ser maior que os componentes do mesmo e o impacto ambiental fosse ainda menor. Essa análise ocorreu da seguinte maneira: os componentes base do gel foram identificados através de uma tabela, conforme abaixo.

Tabela 1. Proporções de componentes presentes no Exogel

| Nome Químico                   | Percentuais |
|--------------------------------|-------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 62,54%      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 24,42%      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,78%       |
| K <sub>2</sub> O               | 0,74%       |



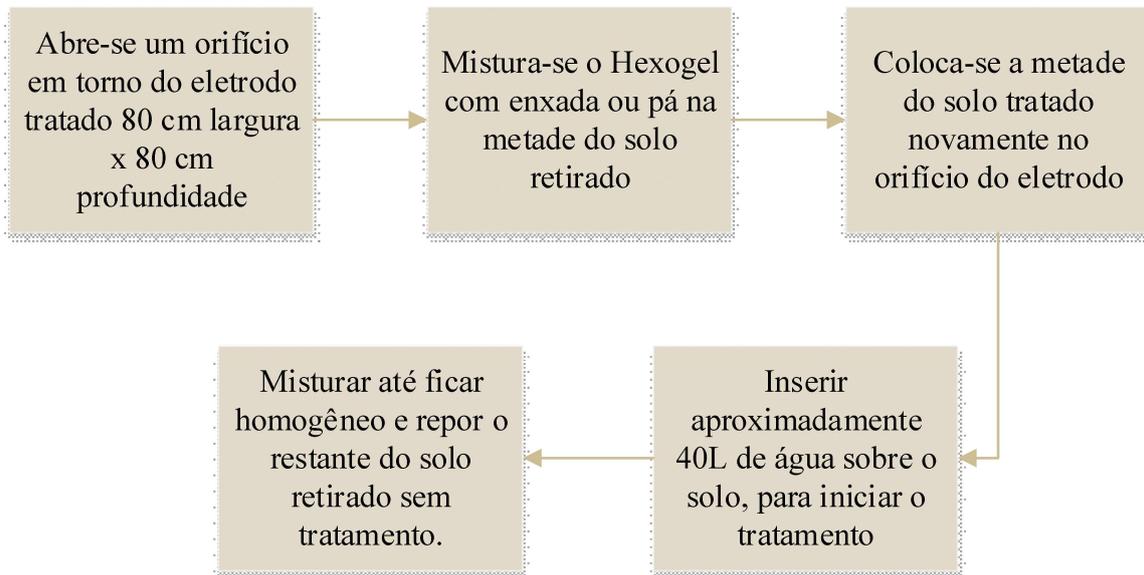
|                        |              |
|------------------------|--------------|
| <b>Na<sub>2</sub>O</b> | <b>2,32%</b> |
| <b>CaO</b>             | <b>1,50%</b> |
| <b>MgO</b>             | <b>1,70%</b> |

Fonte – (Adaptada) L.A. Falcão Bauer, 2000.

A partir de então, pesquisas sobre cada composto, definiu qual dos compostos seria mais agressivo ao solo e que não tirassem a característica principal do gel em caso de substituição. Em seguida, após definido o Na<sub>2</sub>O para ser substituído, a pesquisa seguiu, a fim de que se encontrasse um metal menos agressivo ao solo e tivesse resistividade elétrica mais baixa que o mesmo. Desta forma, ocorre a obtenção da maior diminuição da resistividade do solo, tornando a aplicação do gel em lugares onde se têm descargas elétricas maiores, em subestações, por exemplo, sendo o local mais indicado. Além de, diminuir ainda mais os impactos ambientais.

Para esquematizar a aplicação do produto, um fluxograma foi elaborado, conforme a figura 1:

Figura 1. Método de aplicação do Exogel



Fonte: Os Autores



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através das pesquisas, pode-se observar que os compostos do exogel, são todos óxidos metálicos, isso porque, o gel é composto em sua maior parte por argila (argilominerais). Os metais têm baixa resistividade elétrica, dessa forma, facilitam a dissipação da descarga elétrica ao solo. O maior objetivo desse artigo, é substituir um desses metais por outro menos poluente e menos resistivo, conduzindo mais eletricidade.

Levando em consideração que o tratamento é uma solução úmida, o componente escolhido para substituição foi o óxido de sódio. Ele é abundante na natureza, é encontrado no mineral halita e no sal marinho. Porém, é muito reativo, se oxida com o ar, reage violentamente com a água além de também poder ser bastante corrosivo. O óxido de sódio, representa 2,32% da composição total do exogel.

Para substituição, foi escolhido o óxido de ouro (III) na mesma porcentagem de aplicação. Diferente do sódio, o ouro é pouco reativo e tem baixa resistividade elétrica. Ou seja, sua condutividade elétrica é maior, uma corrente elétrica passa através do ouro com muita facilidade. Além disso, ele não reage com a água e também não sofre facilmente lixiviação

Tabela 2. Comparação das resistividades dos dois compostos estudados

| Componentes       | Resistividade ( $\Omega\text{m}$ ) |
|-------------------|------------------------------------|
| óxido de sódio    | 0,0470                             |
| óxido de ouro III | 0,022                              |

Fonte – (Adaptada) Edufer, 2018.

A diferença de resistividade entre os componentes é de 0,025  $\Omega\text{m}$ . O que significa que o Óxido de Ouro III é 46,80% menos resistivo a correntes elétricas. Como a condutividade elétrica é diretamente proporcional a resistividade, podemos considerar que o  $\text{Au}_2\text{O}_3$  (Óxido de Ouro III) é 46,80% mais condutor que o  $\text{Na}_2\text{O}$ , (Óxido de Sódio) totalizando uma diferença positiva significativa.



## CONCLUSÃO

De acordo com estudo de caso realizado, pode-se chegar a conclusão que é viável a substituição do óxido de sódio pelo óxido de ouro III. Ainda que a adição do ouro aumente o custo do produto, ele atinge o objetivo principal que é diminuir a agressão ao solo e aumentar a condutividade elétrica. Sendo assim, torna-se o solo menos resistivo, atingindo um campo maior de aplicação, pois o mesmo passa a ser mais indicado também para proteções em locais de grandes descargas atmosféricas, é o caso das subestações, por exemplo, que hoje, em sua maioria, utilizam outros métodos de proteção. Expandindo o campo de aplicação, o retorno financeiro também passa a ser maior, tornando viável o processo. Com isso, conclui-se que o objetivo alcançado, e que as questões propostas no artigo foram solucionadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5419: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. ABNT: Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7117: Medição de resistividade do solo pelo método dos quatro pontos (Wenner). ABNT: Rio de Janeiro, 1981.

BONIFÁCIO, Leonardo da Silva. **Processos de agregação e fusão de nanopartículas de ouro: Uma abordagem química**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46134/tde-16092006-145739/pt-br.php>>. Acesso em: 28 out. 2018.

DE PAIVA, Amanda Romão. Estudo das Descargas de Retorno e Componentes M e sua Detecção por Sistemas de Localização de Relâmpagos. INPE, São José dos Campos, 2015. Disponível em: <[http://www3.inpe.br/pos\\_graduacao/cursos/geo/arquivos/dissertacoes/dissertacao\\_amanda\\_romao\\_paiva\\_2015.pdf](http://www3.inpe.br/pos_graduacao/cursos/geo/arquivos/dissertacoes/dissertacao_amanda_romao_paiva_2015.pdf)>. Acesso em: 30 out. 2018.

EDUFER. **Tabela de resistividade dos materiais condutores, semicondutores e isolantes**. Disponível em: <<http://www.edufer.com.br/tabela-de-resistividade-dos-materiais-condutores-semicondutores-e-isolantes/>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

ELEMENTOS QUÍMICOS. **Sódio**. Disponível em: <<http://elementos-quimicos.info/elementos-quimicos/sodio.html>>. Acesso em: 16 out. 2018.



ELETRICISTA CONSCIENTE. **Resistência e resistividade do terreno**. Disponível em: <<http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/5-aterramento/resistencia-e-resistividade-do-terreno/>>. Acesso em: 31 out. 2018.

HARLAND, W. B.; HACKER, Jennifer LF. Fossil lightning strikes 250 million years ago. *Adv. Sci*, v. 22, p. 663-671, 1966.

INPE. **Edificações/para-raios**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/protecao/protecao.edificacoes.php>>. Acesso em: 24 out. 2018.

GARY, Claude. **La foudre: des mythologies antiques à la recherche moderne**. Elsevier Masson, 1994.

LIMA, Kellen Carla; GOMES, Roseli Gueths. Detecção de descargas elétricas atmosféricas em sistemas convectivos com dados do SIMEPAR. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, n. 1, p. 5-16, 2009.

MODENA, Jobson; SUETA, Hélio. Fascículo XI - Aterramentos elétricos: Medição da resistividade do solo 70ª ed, 2011. Disponível em: <[http://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2012/01/Ed70\\_fasciculo\\_aterramentos\\_cap11.pdf](http://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2012/01/Ed70_fasciculo_aterramentos_cap11.pdf)>. Acesso em: 31 out. 2018.

NOGUEIRA, Roberto Luís Santos. **Análise de Sistemas de Aterramento sob Solicitações impulsivas: Otimização e Critérios de Segurança em Aterramentos de Estruturas de Linhas de Transmissão**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado submetida à Universidade Federal do Rio de Janeiro.

NOVO, Rodrigo Gomes da Silva Lourenço et al. Sistema sensor para detecção de descargas atmosféricas em linhas de transmissão de energia elétrica. 2009. Disponível em: <[https://www.ufpe.br/documents/39830/1359036/184\\_LauroNovo/466a09c4-6771-43f5-b943-90503dc25831](https://www.ufpe.br/documents/39830/1359036/184_LauroNovo/466a09c4-6771-43f5-b943-90503dc25831)>. Acesso em: 30 out. 2018.

PINTO JR, Pinto Junior; DE ALMEIDA PINTO, Iara Regina Cardoso. **Tempestades e relâmpagos no Brasil**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

RAKOV, Vladimir A.; UMAN, Martin A. **Lightning: physics and effects**. Cambridge University Press, 2003.



SABER ELÉTRICA. **Descargas elétricas, como são formadas e como se prevenir.**

Disponível em: <<https://www.sabereletrica.com.br/descargas-atmosfericas/>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

WR ENGENHARIA. **Resistividade do solo.** Disponível em: <<http://www.rwengenharia.eng.br/resistividade-do-solo/>>. Acesso em: 31 out. 2018.

---

