

## LEVANTAMENTO DAS PRINCIPAIS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DISPONÍVEIS PARA O ESTUDO DE ATERRAMENTOS ELÉTRICOS

**Marcos Vinícius Santos da Silva<sup>1</sup>, Márcio Augusto Tamashiro<sup>2</sup>, Kaison Teodoro de Sousa<sup>3</sup>, Antonio Marcelino da Silva Filho<sup>4</sup>, Humberto Rodrigues Macedo<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Elétrica - IFTO. Bolsista do PIBIC. e-mail: <marcosvinciusifto@gmail.com>

<sup>2</sup>Professor de Graduação em Engenharia Elétrica - IFTO. e-mail: <tamashiro@ifto.edu.br>

<sup>3</sup>Professor de Graduação em Engenharia Elétrica - IFTO. e-mail: <kaison@ifto.edu.br >

<sup>4</sup>Professor de Graduação em Engenharia Elétrica - IFTO. e-mail: <marcelino.filho@ifto.edu.br>

<sup>5</sup>Professor de Graduação em Engenharia Elétrica - IFTO. e-mail: <humberto.macedo@ifto.edu.br>

**Resumo:** Este trabalho apresenta as principais ferramentas computacionais disponíveis para o estudo de aterramentos elétricos. Estão aqui listadas e comparadas as características das que foram selecionadas na pesquisa realizada, com destaque para os recursos principais disponíveis e custo de aquisição.

**Palavras-chave:** aterramentos elétricos, resistência de aterramento, resistividade do solo, modelagem computacional, ferramenta computacional

### 1 INTRODUÇÃO

Um aterramento elétrico nada mais é do que uma conexão elétrica intencional de um sistema elétrico/eletrônico ou corpos metálicos ao solo, sendo composto por 3 itens principais (VISACRO, 2010):

- Ligações elétricas de um ponto do sistema a eletrodos;
- Eletrodos de aterramento (qualquer corpo metálico colocado no solo);
- Terra que envolve os eletrodos.

Segundo KINDERMANN e CAMPAGNOLO (2010) os principais objetivos de um sistema de aterramento são:

- Obter uma resistência de aterramento mais baixa possível;
- Manter os potenciais produzidos pelas correntes de falta dentro dos limites de segurança;
- Fazer com que os equipamentos de proteção sejam sensibilizados e isolem rapidamente as falhas à terra;
- Proporcionar um caminho de escoamento para terra de descargas atmosféricas;
- Usar a terra como retorno de corrente no sistema monofilar com retorno por terra;

- Escoar as cargas estáticas geradas nas carcaças dos equipamentos.

É muito comum na engenharia, bem como em outras áreas do conhecimento, o uso de programas computacionais para o ensino ou a realização de pesquisas. Isso não é diferente quando se trata de aterramentos elétricos. Assim, o objetivo deste artigo é a realização de um levantamento e uma comparação das principais ferramentas computacionais disponíveis para o estudo de aterramentos elétricos. A metodologia utilizada, os resultados obtidos e as conclusões deste artigo encontram-se disponíveis nas seções a seguir.

## 2 METODOLOGIA/MATERIAIS E MÉTODOS

As informações contidas neste artigo, sobre as ferramentas computacionais para o estudo de aterramento elétrico, foram coletadas inicialmente por meio de pesquisas na internet. Nessa busca, considerando a quantidade de ocorrências existentes, foram selecionadas 5 ferramentas computacionais.

Assim foi possível, em seguida, ter acesso a informações adicionais em suas páginas oficiais, bem como por meio do contato direto, via *e-mail*, com o desenvolvedor/representante comercial de cada *software*.

## 3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

A lista das ferramentas computacionais pesquisadas e selecionadas está disponível na Tabela 1. Nessa tabela é informada além do nome do *software*, o nome do desenvolvedor e do país de origem. Nas subseções a seguir são apresentados resumos contendo as características principais de cada uma dessas ferramentas computacionais.

Tabela 1 – Lista das ferramentas computacionais pesquisadas e selecionadas.

NOME	DESENVOLVEDOR	PAÍS
AutoGridPro	SESTECH	Canadá
Aterramento	CEPEL	Brasil
SEGround	NSA Consultoria e Informática LTDA	Brasil
TECAT Plus	Officina de Mydia	Brasil
ETAP PS	ETAP	Estados Unidos

### 3.1 AutoGrid Pro

O AutoGridPro é constituído por vários módulos de engenharia integrados, projetados para estudar malhas de aterramento do ponto de vista da segurança elétrica de pessoas e de equipamentos, possibilitando a otimização de instalações existentes ou o projeto de novas. Inclui um conjunto

flexível de utilitários para relatórios e ferramentas gráficas, permitindo a obtenção e ilustração de uma variedade de resultados relevantes para o projeto (SESTECH, 2018). O programa calcula o potencial no solo, tensões de toque e passo, distribuição de correntes de falta nos circuitos adjacentes, dentre outros.

Entre as principais empresas, de grande porte, e instituições de ensino que já adquiriram e utilizam esse software destacam-se a ABB (multinacional suíça do ramo de energia e automação), Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Companhia Energética de São Paulo (CESP), CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz), Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), Universidade de São Paulo (USP) e a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS).

### 3.2 ATERRAMENTO

O Sistema Aterramento é uma ferramenta computacional com interface gráfica com o usuário, que tem como objetivo o cálculo, análise, projeto e dimensionamento de sistemas de aterramento empregados em linhas de distribuição, linhas de transmissão e subestações de energia elétrica (CEPEL, 2018). A ferramenta é dividida em três blocos principais:

- SOLO: possibilita a modelagem do solo em até duas camadas horizontais;
- FUGA: permite o cálculo das correntes injetadas nas malhas de aterramento;
- MALHA: realiza o cálculo da malha de aterramento, incluindo o cálculo da resistência de aterramento da malha e dos perfis e mapas de tensões de passo e de toque induzidas junto ao solo.

Entre os principais usuários do sistema Aterramento estão profissionais das empresas Eletrobrás. A ferramenta também pode ser usada por profissionais de concessionárias de energia elétrica, de empresas de projetos de sistemas de distribuição e transmissão de energia, bem como de subestações.

### 3.3 SEGround

SEGround é um *software* com interface gráfica para a simulação de sistemas de aterramento com geometrias complexas, tais como as de malhas de aterramento não retangulares, de condutores não uniformemente espaçados e com hastes de aterramento (NSA, 2018).

Este software facilita a especificação da geometria de hastes, condutores (cilíndricos), paralelepípedos e outros, o cálculo das correntes injetadas no solo, bem como a especificação e obtenção dos resultados (potenciais e gradientes de potencial no solo), por meio da utilização do Método de Simulação de Cargas adaptado para sistemas de aterramento.

Demais características:

- Possibilita a simulação de sistemas de aterramento com geometria complexa (não somente malhas retangulares, mas também condutores em quaisquer disposições geométricas no solo);
- Distribuição não uniforme de corrente ao longo dos condutores;
- Considera solo estratificado em duas camadas horizontais;
- Permite o cálculo de resistências, tensões de passo e toque, potenciais transferidos, etc;
- Permite a visualização tridimensional da geometria;
- Possui diversas opções que facilitam a especificação da geometria do sistema de aterramento, bem como sua alteração/edição.

Entre as principais empresas, de grande porte, que já adquiriram e utilizam esse software destacam-se a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), LIGHT (empresa do setor de distribuição de energia elétrica que atua no estado do Rio de Janeiro), Engie Brasil (empresa do ramo de geração de energia elétrica, anteriormente Tractebel Energia) e a Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul (CEEE).

### 3.4 TECAT Plus

TECAT Plus é uma ferramenta computacional para modelagem de malhas de aterramento, em solos de 2, 3 ou 4 camadas, que segundo o desenvolvedor excede as exigências das principais normas, com recursos de análise necessárias para encontrar a solução otimizada às necessidades de cada aterramento (OFFICINA DE MYDIA, 2018).

Com este *software* é possível realizar a estratificação do solo em 2, 3 ou 4 camadas, a modelagem de malhas de aterramento complexas de qualquer tamanho em solo multicamada,

indicação dos potenciais de malha e superfície em vista 3D, potenciais de toque, de passo e superfície em vista 2D, além da geração de relatórios descritivos, gráficos e tabelas que podem ser exportadas, para os principais formatos (PDF, TXT, XLS, CSV e JPG), lista de materiais, custos de materiais e mão-de-obra.

### 3.5 ETAP PS

O módulo de sistemas Ground Grid, que faz parte do ETAP PS, permite projetos e análises de malhas de aterramento com rapidez e precisão, metodologias de projeto flexíveis permitem *layouts* de *design* rápido e esquemas bem detalhados (ETAP, 2018). Entre os recursos disponíveis estão:

- Configuração do solo de duas camadas mais material de superfície;
- Tabela de potenciais na superfície da terra;
- Extensões de limite externo;
- Opções de peso variável e temperatura;
- Comparação entre as correntes permitidas com as correntes de fuga;
- Biblioteca de condutores expansível pelo usuário;
- Configurações de malhas de aterramento mostrando plotagens de condutor e haste;
- Comparação dos potenciais com limites toleráveis;
- Tensão de passo, toque e potencial absoluto dentro e fora da malha.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das informações apresentadas, que foram coletadas nas páginas oficiais e em contato direto, via *e-mail*, com o representante de cada software foi construída uma tabela comparativa (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação das ferramentas computacionais.

ITENS COMPARADOS	AUTOGRID PRO	ATERRAMENTO	SEGround	TECAT PLUS	ETAP PS
Estratificação do solo	Multicamadas (Versão Pro)	Até 2 camadas	Até 2 camadas	Até 4 camadas	Até 2 camadas
Calculo de tensões de passo e toque	X	X	X	X	X

Biblioteca de condutores (hastes) expansível pelo usuário	X	--	X	X	X
Preço da licença	US\$21.600,00 (R\$83.392,20)*	Não disponibilizado pelo fabricante	R\$ 24.330,00	R\$ 4.900,00	US\$4.00,00 (R\$15.444,40)*
Requisitos recomendados	Processador Core I7, 64-bit, 8 a 12 GB de memória RAM, Windows 7 ou superior	Não disponibilizado pelo fabricante	Processador Core I5 ou superior, 64-bit, 4 GB de memória RAM, Windows 7	Não disponibilizado pelo fabricante	Processador Core I5, 64-bit, 8 GB de memória RAM, Windows 7 ou Superior

\*Cotação do dia 10/08/2018 (US\$1,00 = R\$3,86)

De maneira geral, as ferramentas computacionais para modelagem de aterramentos, tem como principal objetivo realizar estudos sobre aterramentos, por meio de um ambiente computacional simples e automatizado, permitindo ao usuário concentrar-se em aspectos relevantes do projeto, desde o cálculo da resistência de aterramento de uma malha simples até análises de segurança de um sistema complexo de aterramento para uma subestação de energia elétrica.

As ferramentas computacionais apresentadas permitem otimizar a realização de análises e projetos de malhas de aterramentos. Todavia, devido aos custos elevados da licença para aquisição, o uso de qualquer um desses programas pode ser tornar inviável para usuários que não disponham ou que não estejam dispostos a pagar pela ferramenta. Nenhum dos desenvolvedores consultados disponibilizam licenças acadêmicas gratuitas com limitação de recursos ou a um custo menor.

Das 5 ferramentas computacionais o AutoGrid Pro é a que oferece mais recursos, mas também possui o maior custo para aquisição. Sendo assim, em termos de menor preço e quantidade de recursos oferecidos, o TECAT Plus é uma opção vantajosa, como pode ser observado na Tabela 2. Além disso, conforme Tabela 1, esse *software* é um dos 3 listados cujo desenvolvedor é nacional, o que facilita o acesso ao suporte.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou um levantamento das ferramentas computacionais disponíveis que pudessem auxiliar no estudo de aterramentos elétricos. Em um próximo estudo espera-se conseguir com os desenvolvedores versões demo (de demonstração) de cada software para utilização e a realização de uma comparação prática dos recursos oferecidos.

De modo geral, todas as ferramentas apresentadas neste artigo são comerciais, contendo recursos principais bastante similares, com foco em projetos de aterramentos elétricos e preços significativos para aquisição. Isso é um dos motivos pelo qual é muito frequente no meio acadêmico o desenvolvimento de ferramentas computacionais específicas, que possam auxiliar o desenvolvimento de pesquisas na área de engenharia, como é o caso de aterramentos elétricos.

## REFERÊNCIAS

CEPEL. ATERRAMENTO - Sistema para Projeto de Malhas de Aterramento. Disponível em: <<http://www.cepel.br/produtos/ateramento-sistema-para-projeto-de-malhas-de-ateramento.htm>> Acesso em: 08 de Agosto 2018.

ETAP. Disponível em: <<https://etap.com/product/ground-grid-systems-software>> Acesso em: 08 de Agosto 2018.

KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. - **Aterramento Elétrico** - SAGRA - D. C. LUZZATTO, 1995.

NSA. Disponível em: <<http://nsaconsultoria.com.br/simulacao-de-sistemas-de-ateramento>> Acesso em: 08 de Agosto 2018.

OFFICINA DE MYDIA. Disponível em: <[http://www.mydia.com/grounding/grounding\\_tecat.htm](http://www.mydia.com/grounding/grounding_tecat.htm)> Acesso em: 08 de Agosto 2018.

SESTECH. Disponível em: <<http://www.sestech.com/products/softpackages/autogridpro.htm>> Acesso em: 08 de Agosto 2018.

VISACRO, Silvério. **Aterramentos elétricos - Conceitos básicos, técnicas de medição e instrumentação, filosofia de aterramento**. São Paulo: Artliber, 2010.