ESTUDO DE CASO PARA COMPARAÇÃO DE RESULTADOS ENTRE VALORES PROJETADOS E OBTIDOS APÓS EXECUÇÃO EM UMA MALHA DE ATERRAMENTO.

Pedro Junior Tezza

***Resumo* – O presente artigo é um estudo de caso para comprovação da precisão dos cálculos de malha de aterramento em uma subestação de alta tensão. Os cálculos de dimensionamento podem não ser precisos, dependendo o procedimento abordado, portanto será mostrado a diferença de valores calculados e os obtidos através das medições.**

***Palavras-chave* – Aterramento. Subestação. Resistividade do solo.**

***Abstract* – This article is a case study to prove the calculations precision of a grounding mesh in a high voltage substation. The dimensioning calculations may not be precise, depending on the approached procedure, therefore, the values difference between the calculations and the ones obtained by measurements will be shown.**

***Keywords* – Grounding. Substation. Ground resistivity.**

I. INTRODUÇÃO

Uma subestação de uma cidade é o ponto que recebe a rede de transmissão, podendo essa ser em diversos níveis de tensão, e transforma para níveis de tensão mais baixos, para serem usados nos sistemas de distribuição.

O pátio de uma subestação concentra numa pequena área de terra, diversos equipamentos elétricos, e diferentes tipos de estruturas para montagem e operação deles. Apesar de muitos desses equipamentos oferecerem leitura e controle remotos, alguns deles só podem ser operados de forma manual e presencial.

Levando em conta que apesar de equipamentos grandes e robustos, uma subestação é controlada e monitorada por equipamentos eletrônicos muito sensíveis, uma malha de aterramento dimensionada e executada de forma correta se faz indispensável, para que haja um correto escoamento de qualquer surto que venha a acontecer, tanto por um distúrbio atmosférico, quanto por uma falha em algum isolador nas estruturas.

Como ocorre em muitos casos, o projeto é feito apenas com a informação da área a ser construída, e as informações a respeito do solo são especulativas.

Portanto este trabalho visa fazer um estudo de caso para comparar os valores que foram apresentados em projeto, com os valores obtidos ao final da execução.

II. SUBESTAÇÃO

A obra usada para aplicar o estudo de caso trata-se de uma ampliação na subestação da Cooperativa De Eletricidade de São Ludgero, na cidade de São Ludgero, em Santa Catarina.

A subestação é alimentada por uma linha de transmissão em 138kV, e tinha uma área de 3000m², onde havia instalado dois transformadores de 26MVA.

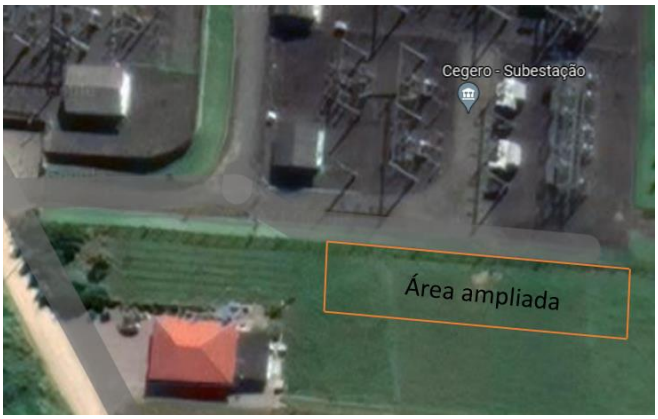

Figura 1. Demonstração da área de terra adquirida.

Com a ampliação, mais 1150m² foram adquiridos, conforme mostrado em figura 1, proporcionando espaço físico para instalação de mais uma unidade transformadora de 26MA, deixando a subestação com capacidade total de 78MVA.

III. MEDIÇÕES E CÁLCULOS

Para obtenção dos valores de resistividade do solo, foi utilizado o Método de Wenner, método que consiste na alocação de 4 eletrodos em linha, respeitando a distância entre eles, que deverá ser constante.

Uma corrente de teste circula entre dois eletrodos, provocando um diferente aumento do potencial nos outros dois eletrodos, onde o aparelho interpretará com o uso da equação (1) e indicará o valor de resistência (Ω) [1].

Pela área a ser construída, o Método de Wenner indica um valor mínimo de 4 linhas de medição [2], as quais ficaram alocadas conforme figura 2.

Figura 2. Alocação das linhas de medição.

As medições foram feitas respeitando os pontos de referência, e os resultados obtidos podem ser melhor vistos na Tabela I.

Ponto	1		2	
	Distancia (m)	Valor obtido (Ω)	Distancia (m)	Valor obtido (Ω)
	1	9,19	1	13,1
	2	4,4	2	9,77
	4	2,48	4	4,22
	8	1,75	8	2,95
	16	1	16	2,12
	32	-	32	1,65
Ponto	3		4	
	Distancia (m)	Valor obtido (Ω)	Distancia (m)	Valor obtido (Ω)
	1	15,1	1	11,1
	2	5,9	2	6
	4	2,4	4	3,61
	8	1,86	8	2,73
	16	2,21	16	1,88
	32	-	32	1,05

Tabela I. Medições de resistividade do solo.

Pode ser observado que em duas linhas, a medida do terreno era menor que os 32 metros sugeridos pelo método, portanto ficaram de fora da medição.

Após os valores obtidos, uma média entre eles é calculada, conforme Tabela II.

Distancia (m)	Valor médio (Ω)
1	12,12
2	6,52
4	3,18
8	2,32
16	1,80
32	1,35

Tabela II. Média dos valores de resistividade.

Os valores médios serão usados como base de cálculo para se obter um valor de resistência do solo.

IV. Análise de Resultados

Esta seção é dedicada a mostrar os valores calculados encontrados, e apresentar os valores dimensionados via projeto para que seja possível a comparação.

A. *Resistencia da Malha*

De posse dos valores médios mostrados na Tabela II, juntamente com o conhecimento do tipo de solo e informações da malha retirada de projeto, como seção e tipo do condutor, quantidade e dimensionamento das hastes, profundidade da malha e material de cobertura, foi alimentado um software usado para cálculo de resistência estimada do solo.

Os valores da Tabela II, quando lançadas no software geraram uma curva de resistência do solo por metro, conforme mostrado em figura 3.

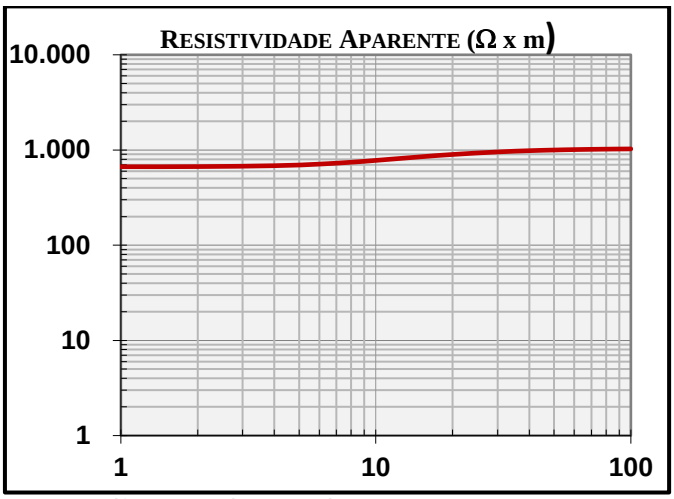

Figura 3. Gráfico de resistência x distância.

Preenchendo os valores de largura e comprimento, e distanciamento entre os vãos, conforme mostrado em Figura 4. O programa gera uma imagem para melhor interpretação do arranjo, conforme Figura 5.

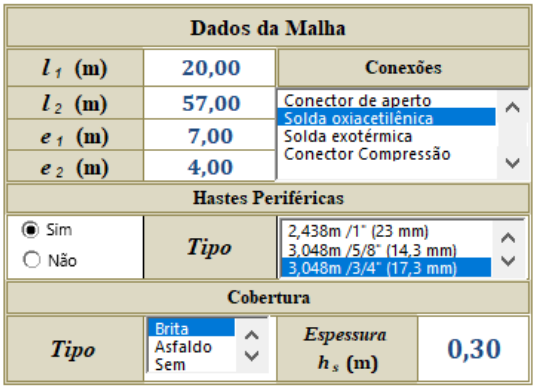

Figura 4. Dados da malha.

Nessa etapa, informações essenciais são fornecidas, como as medidas para formar a área necessária, informações das hastes de aterramento, e o tipo de cobertura que será aplicado.

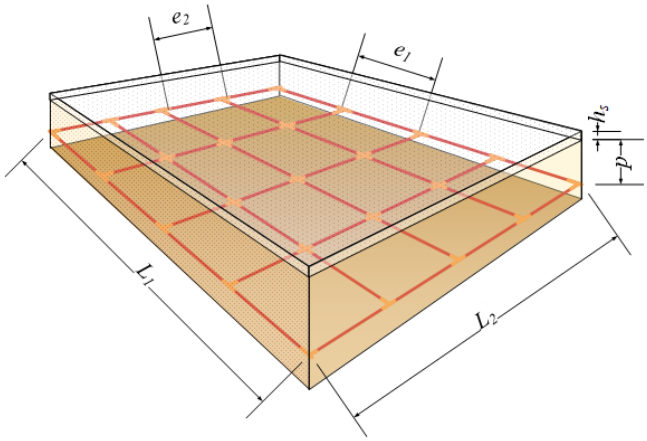

Figura 5. Representação visual da malha.

Após isso, o software é capaz de calcular uma resistência do solo estimada para esse arranjo, conforme mostrado em Figura 6.

Resistência Malha (Ω):		13,09
Tensões Máximas (V)		
Tipo	Admissíveis	Na Malha
Passo	6198,7	1145,3
Toque (cd)	1824,8	510,8
Toque (ld)	29,8	3,4

Figura 6. Resultados apresentados pelo software.

Como visto, o software apresenta o valor de resistência da malha como sendo de 13,09ohms (Ω), e os valores de tensão de passo e toque máximas.

B. VALORES APRESENTADOS EM PROJETO

O projeto recebido em mãos para execução da malha não descreve os cálculos, apenas indica que foi feito seguindo o guia de segurança no aterramento de subestação, pela metodologia IEEE-80/R86 [3], e foi obtido o valor de resistência da malha igual a 0,37Ω, conforme Figura 7.

```
2.4 - Resistência Elétrica da Malha
  2.4.1 - Resistência da Malha ...... 0,37 ohms
  2.4.2 - Resistência Equivalente ... 0,35 ohms
```

Figura 7. Captura de tela do projeto da malha de aterramento.

Como visto em Figura 7. É apresentado o valor de forma simples e direta.

Na tabela III se apresentam o resumo dos resultados de cada caso, onde é possível verificar as distancias de falta encontrada para cada caso comparando com a distância real do defeito.

C. MEDIÇÃO DE RESISTENCIA DA MALHA

Após executados os serviços de instalação da malha de aterramento, respeitando as medidas e dimensionamentos do projeto, pôde-se obter o valor médio de resistência da malha.

A medição foi realizada por pessoal capacitado, e usando equipamentos adequados e calibrados, obtendo o valor mostrado em Figura 8. Que foi retirada diretamente do laudo apresentado.

SUBESTAÇÃO – Média 12,60 (Ω)					
Ponto	Equipamento	Medição 01	Medição 02	Medição 03	Média
P01	Religador RL 162	14,87	15,52	14,75	15,05
P02	Transformador T1	15,33	10,93	11,49	12,59
P03	Transformador T2	11,65	12,08	10,53	11,42
P04	Transformador T3	10,09	12,21	11,75	11,35

Figura 8. Medições de resistência da malha.

Este valor de 12,60Ω é uma média entre as medições, e não é exclusivamente da parte ampliada da subestação, pois a mesma foi conectada em diversos pontos com a malha antiga, conforme instruído em projeto.

V. CONCLUSÕES

A busca pela implantação de uma boa malha de aterramento é essencial, porém torna-se um desafio devido aos fatores externos que podem alterar os valores de cálculos e de medições, como chuvas em períodos próximos às medições, e diferentes tipos de solo.

Levando isso em consideração, o procedimento na elaboração do projeto e da execução não pode passar por atalhos.

Analisando os dados apresentados acima, pôde-se notar que os valores calculados em projeto deram bastante baixos, com apenas 0,37Ω. Isso é um forte indício de que o projeto foi elaborado com estimativas, e não com valores da resistividade do solo obtidos por medições no local.

Como a malha de aterramento da parte ampliada foi conectada à malha antiga da subestação, os valores medidos não são exclusivos da parte ampliada, mas fica evidente a precisão nos cálculos, se este for feito da maneira correta.

Enquanto a diferença dos valores de projeto para os medidos chega na casa dos 97,2% de erro, os valores obtidos pelo software alimentado por informações de medições no local apresentam erro de 3,74% (0,49Ω) se tratando dos valores médios da malha de toda a subestação e uma diferença de 13,3% (1,74Ω) se levarmos em consideração a medição no ponto mais próximo da parte ampliada (P04 em Figura 8).

Esta analise mostra a importância do deslocamento do profissional até o local, realização de medições e usa-las para o cálculo, e não apenas usar valores tabelados e estimados, pois essa prática pode levar a dois problemas, o primeiro sendo um sistema que não cumpra seu papel, gerando uma situação de insegurança, e o segundo é que geralmente quando adotado esse método de valores estimados, pratica-se um sobredimensionamento da malha por medida de segurança, acarretando em uma custo mais alto na implantação.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Andolfato, Roberto; Fellin, Lorenzo; Turri, Roberto (4 March 1997). "Analisi di impianti di terra a frequenza industriale: confronto tra indagine sperimentale e simulazione numerica". *Energia Elettrica*. Milan. **74** (2): 123–134. Archived from the original on 20 August 2011.

[2] Dias, Rodrigo; dos S. Hoefel, Simone; de A. Costa, Edmondo G.; Carrer, Jose A. M.; de Lacerda, Luiz A. (15 November 2010). "Two-dimensional Simulation of the Wenner Method with the Boundary Element Method - Influence of the Layering Discretization". *Mecánica Computacional*. **XXIX**: 2255–2266.

[3] IEE/IEC 80/R36-2015 IEE/IEC International Standard - Guide for safety in AC Substation Grounding [Online]. Disponivel: https://www.target.com.br/produtos/materias-tecnicas/2015/06/10/3694/ieee-80-guia-de-seguranca-no-aterramento-de-subestacao-em-corrente-alternada.