

**RELATÓRIO DE SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (SEV)
LEVANTAMENTO DE MEDIDAS E PROCESSAMENTO DE DADOS
MEMORIAL DESCRITIVO**

1. DADOS CADASTRAIS

1.1. Interessado

Cliente: Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE
CPNJ: 88.659.313/0001-05
Endereço: Estrada Adolfo Randazzo, N° 2.647 – Caxias do Sul – RS.
CEP: 95.046-820

1.2. Projetista

Responsável técnico: Eng. Eletricista Bruno Brum Reis
CREA-RS: 152.744
Endereço: Rua São José, n° 534 – Santa Cruz do Sul – RS
CEP: 96.815-040

2. APRESENTAÇÃO

A atual emissão deste documento é a inicial (00), de 18 de abril de 2024.

O presente memorial descreve o procedimento de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) para o projeto de modernização da subestação da Estação de Bombeamento de Água Bruta (EBAB) Maestra. A localização do empreendimento é no município de Caxias do Sul – RS, Estrada Adolfo Randazzo, N° 2.647, coordenadas UTM 483838.51 mE, 6779710.39 mS, zona 22J.

A realização das SEVs no local, tem por objetivo o levantamento de informações de resistividade aparente do solo, necessários para embasar o estudo de levantamento de características geoeletricas do solo, possibilitando a obtenção de curvas de resistividades do solo, em função de suas camadas e profundidade, através do processo matemático chamado de inversão.

SPDA, Subestação e Redes Elétricas - Projeto, instalação e manutenção

A Figura 1 exibe o ponto de localização de cada SEV, ou seja, a localização do ponto central da mesma. Em cada marcação foram realizadas duas sondagens, sendo uma perpendicular a outra. Portanto, o ponto denominado SEV12 representa o centro da SEV 1 e da SEV 2 (perpendicular à SEV 1). A distribuição das SEVs foi realizada desta maneira em virtude das restrições do local, em função da inviabilidade de inserção de hastes por presença de rochas, presença de rede de média tensão e espaço hábil para o desenvolvimento do procedimento, permitindo realizar as sondagens e progredir o distanciamento entre pontos.

Figura 1 – Localização das SEVs.



Fonte: arquivo do autor com levantamento do Google Earth.

As coordenadas de referência das SEVs são apresentadas na Tabela 1 discriminando suas coordenadas.

Tabela 1 – Coordenadas de referência das SEVs.

SEV N°	Latitude	Longitude
1 e 2	483221.00 mE	6779658.00 mS
3 e 4	483828.16 mE	6779650.95 mS
5 e 6	483816.30 mE	6779639.08 mS
7 e 8	483837.44 mE	6779623.49 mS

Fonte: arquivo do autor mediante levantamento em campo.

As SEVs foram realizadas no dia 04/04/2024 e as condições climáticas foram registradas e estão sendo exibidas na Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo de condições climáticas.

Quantidade de dias sem chuva:	> 5 dias
Umidade relativa do ar:	72%
Temperatura	21°C
Data/Mês/Ano	04/Abril/2024
Horário de início das atividades	08h 32m
Horário de fim das atividades	11h 35m

Fonte: arquivo do autor.

As características do solo, onde as SEVs foram realizadas, estão sendo listadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características do solo.

Item	Característica
Tipo do solo	Argila silto-arenoso
Exposição do solo	Com cobertura vegetal
Umidade	Sem água superficial

Fonte: arquivo do autor.

3. NORMAS E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- I. ABNT NBR 7117:2020 – Parâmetros do solo para projetos de aterramentos elétricos – Parte 1: Medição da resistividade e modelagem geoeletrica;
- II. ABNT NBR 15749:2009 – Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento;
- III. ABNT NBR 14039:2021 – Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV;
- IV. ABNT NBR 5410:2004 – Instalações elétricas de baixa tensão – Proteção e segurança;

SPDA, Subestação e Redes Elétricas - Projeto, instalação e manutenção

- V. ABNT NBR 15751:2013 – Sistema de aterramento de subestações – Requisitos;
- VI. FERNANDO, EDER. Geofísica: Uma breve introdução. Universidade de São Paulo/USP;
- VII. FILHO, S. V. Aterramentos elétricos. São Paulo: Artliber, 2016;
- VIII. KINDERMANN, G., CAMPAGNOLO, J. M. Aterramento elétrico;
- IX. Manual MTD-20kWe – Terrômetro Megabras.

4. EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

As SEVs foram realizadas com a utilização de um terrômetro, marca Megabras, modelo MTD 20kWe. A resolução do equipamento é de $0,01\Omega$ e possui característica de alta rejeição às correntes parasitas. A Figura 2 exibe o terrômetro, equipamento utilizado para realização das SEVs.

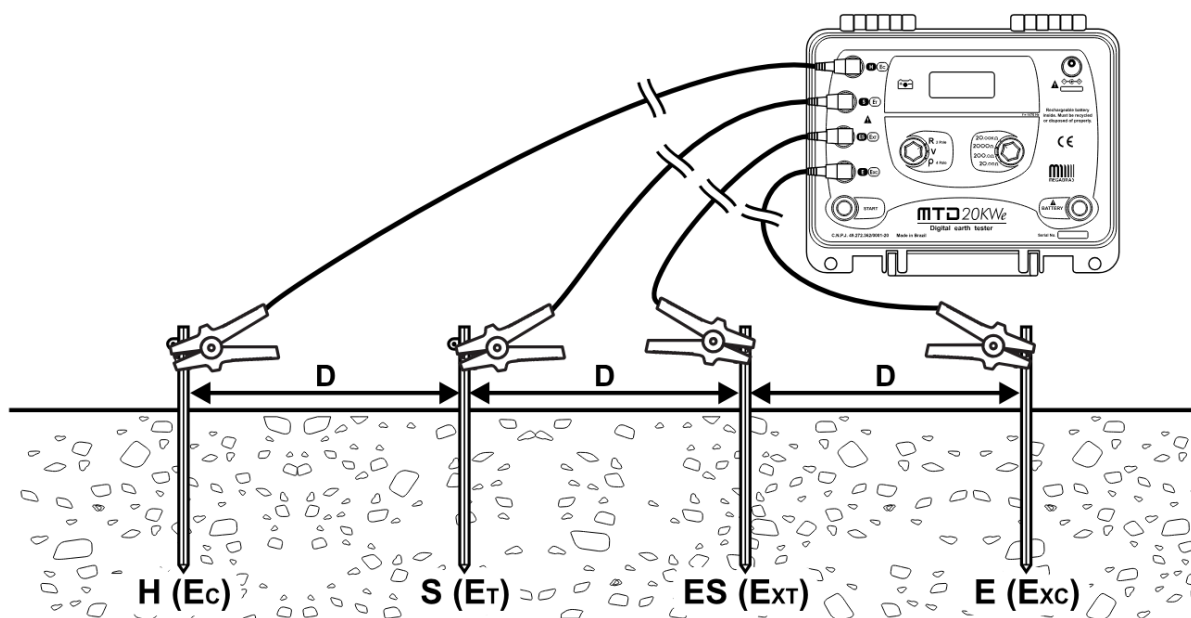
Figura 2 – Terrômetro utilizado nas medições das SEVs.



Fonte: arquivo do autor.

A metodologia empregada para realização das SEVs é a de Wenner Alpha, conforme Figura 3. Foram seguidas as instruções presentes na ABNT NBR 7117:2020, ABNT NBR 15749:2009 e do manual de instruções do fabricante do equipamento para devida operação do mesmo.

Figura 3 – Método de Wenner Alpha.



Fonte: Adaptado do Manual MTD 20kWe, Megabras.

A medição de resistividade do solo no método de Wenner consiste na utilização dos 4 terminais do terrômetro, sendo dois destes para aplicação de corrente elétrica e outros dois para leitura de potencial elétrico.

- H (Ec) é responsável pelo terminal positivo de aplicação de corrente elétrica;
- E (Exc) é responsável pelo terminal negativo de aplicação de corrente elétrica;
- S (Et) é responsável pelo terminal positivo de leitura de potencial elétrico (tensão elétrica);
- E (Exc) é responsável pelo terminal negativo de leitura de potencial elétrico (tensão elétrica).

As hastes são cravadas no solo, com distanciamento igual entre elas (denominado D), e os terminais são conectados conforme disposto na Figura 3, permitindo que o equipamento realize a medição de resistividade. De forma complementar, o método de Wenner instrui que o distanciamento entre as hastes sempre será o mesmo entre todas elas e serão realizadas novas medidas com aumento desta distância (D).

5. MODELAGEM GEOELÉTRICA E TRATAMENTO DE DADOS

A modelagem geoeletrica consistente no tratamento e processamento dos dados levantados em campo pelas SEVs, resumidamente abordando os seguintes pontos:

- Cálculo da curva de resistividade aparente;
- Filtragem de dados extremos (*outliers*);
- Curva média de resistividade;
- Inversão da curva de resistividade aparente.

5.1. Cálculo da curva de resistividade aparente

Os valores de resistência, expressos em Ω , (R_a) medidos pelo terrômetro nas SEVs são apresentados na Tabela 4. A distância entre as hastes (D) é representada pela letra a , disposta em metros.

Tabela 4 – Valores de resistência (R_a) medidos nas SEVs.

a [m]	SEV 1 [Ω]	SEV 2 [Ω]	SEV 3 [Ω]	SEV 4 [Ω]	SEV 5 [Ω]	SEV 6 [Ω]	SEV 7 [Ω]	SEV 8 [Ω]
1	21	36	65,2	56,2	86,2	73,7	49,3	61
2	25,6	13,5	43	32,7	51,1	52,6	31,9	41
4	11,2	-	23,5	19,9	31,3	24,2	28,6	52,8
8	-	-	9,8	-	11,9	-	7,8	-
16	-	-	-	-	-	-	6,26	-

Fonte: arquivo do autor.

O procedimento de cálculo da curva de resistividade é baseado no processamento dos valores de resistência (R_a) medidos pelo terrômetro durante a realização da SEV. A resistividade aparente (ρ_a) é dada pela equação 1, apresentada a seguir:

$$\rho_a = \left[\frac{4\pi a}{1 + \left(\frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4h^2}} \right) - \left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + h^2}} \right)} \right] \times R_a \quad (\text{Equação 1})$$

Após calcular a resistividade aparente, os valores são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resistividade aparente (ρ_a) calculada para as SEVs.

a [m]	SEV 1 [Ω.m]	SEV 2 [Ω.m]	SEV 3 [Ω.m]	SEV 4 [Ω.m]	SEV 5 [Ω.m]	SEV 6 [Ω.m]	SEV 7 [Ω.m]	SEV 8 [Ω.m]
1	150	257	466	402	616	527	353	436
2	334	176	561	427	667	686	416	535
4	284	-	596	505	870	614	726	1340
8	-	-	494	-	600	-	393	-
16	-	-	-	-	-	-	630	-

Fonte: arquivo do autor.

5.2. Filtragem de valores extremos – outliers

É comum que durante as SEVs, algumas medidas estejam fora do padrão da maioria dos valores medidos, devendo ser descartados em uma filtragem preliminar. Portanto, é calculada a média aritmética dos logaritmos de todos os valores de resistividade aparente de cada SEV. O resultado é exibido na Tabela 6.

Tabela 6 – Resumo de tratamento com logaritmo na resistividade aparente.

a [m]	Ln 1 [Ω.m]	Ln 2 [Ω.m]	Ln 3 [Ω.m]	Ln 4 [Ω.m]	Ln 5 [Ω.m]	Ln 6 [Ω.m]	Ln 7 [Ω.m]	Ln 8 [Ω.m]
1	5,012	5,551	6,145	5,996	6,424	6,267	5,865	6,078
2	5,811	5,171	6,330	6,056	6,502	6,531	6,031	6,282
4	5,650	-	6,391	6,225	6,769	6,420	6,587	7,20
8	-	-	6,202	-	6,396	-	5,974	-
16	-	-	-	-	-	-	6,445	-

Fonte: arquivo do autor.

SPDA, Subestação e Redes Elétricas - Projeto, instalação e manutenção

Para continuação do procedimento, agora é calculada a média aritmética dos logaritmos de todos os valores de resistividade aparente, aplicados para o mesmo espaçamento “a”. O resultado é exibido na Tabela 7.

Tabela 7 – Média aritmética dos logaritmos com desvio padrão.

a [m]	Média [$\Omega.m$]	Desvio padrão	Mínimo [$\Omega.m$]	Máximo [$\Omega.m$]
1	5,917	0,450	5,017	6,818
2	6,089	0,445	5,199	6,979
4	6,463	0,479	5,505	7,422
8	6,161	0,211	5,768	6,614
16	6,445	-	-	-

Fonte: arquivo do autor.

A ABNT NBR 7.117:2020 instrui a eliminação de valores que estão acima ou abaixo de dois desvios padrão. Portanto, os valores de 5,012 ($a = 1m$) e 5,171 ($a = 2m$) apresentados na Tabela 6 são retirados das próximas etapas de cálculo.

5.3. Curva média de resistividades aparentes

De acordo com a ABNT NBR 7.117:2020, considera-se que o parâmetro de resistividade do solo possui distribuição estatística que se aproxima da log-normal. Logo, a curva média de resistividades aparentes, que representa a estrutura geoeletrica do solo, pode ser obtida a partir da média geométrica dos valores de resistividade aparentes medidos para cada espaçamento.

A utilização da média geométrica atende à recomendação da literatura técnica da área de geofísica, apresentando vantagem da diminuição de peso das medidas com desvios significativos com relação aos valores médios. De forma complementar, a média geométrica reduz o desvio estático causado pelas não homogeneidades rasas do solo. A Tabela 8 mostra as médias aritméticas e geométricas dos valores filtrados que foram obtidos através da operação inversa do logaritmo natural.

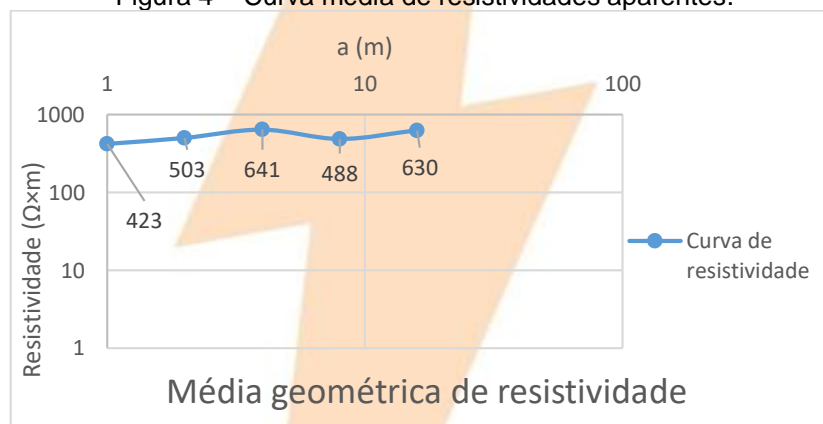
Tabela 8 – Médias aritmética e geométrica dos valores de resistividade corrigidos.

a [m]	Média aritmética [Ω.m]	Média geométrica [Ω.m]
1	437	423
2	518	503
4	705	641
8	495	488
16	630	630

Fonte: arquivo do autor.

A curva média de resistividades aparentes é apresentada na Figura 4. A curva consiste em resultados da média geométrica e o gráfico possui escala log-log.

Figura 4 – Curva média de resistividades aparentes.



Fonte: arquivo do autor.

6. INVERSÃO DA CURVA DE RESISTIVIDADES APARENTES

A ABNT NBR 7117:2020 determina que o número de camadas de um modelo geoeletrico é definido através da equação 2, apresentada a seguir:

$$N_{camadas} = N_{pi} + 1 \quad (\text{Equação 2})$$

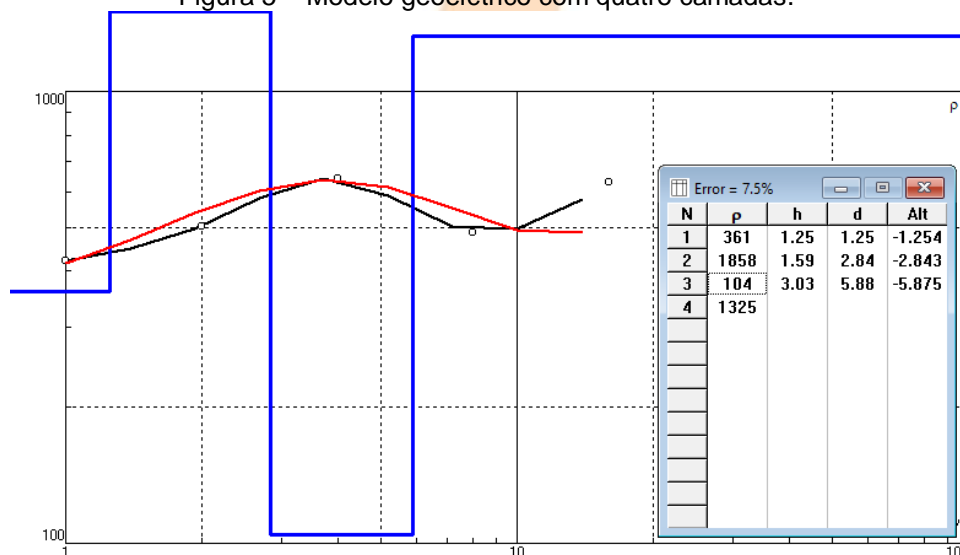
– N_{pi} é o número de pontos de inflexão da curva de resistividades aparentes.

SPDA, Subestação e Redes Elétricas - Projeto, instalação e manutenção

A curva de resistividades aparentes é exibida na Figura 5, apresentando suas características. É possível verificar a presença de três pontos de inflexão, por este motivo, o modelo geoeletrico mais próximo do real é o de 4 camadas.

Este procedimento matemático foi realizado através de uso de software específico para a função, resultando em um modelo de 4 camadas, através do complemento de informações provenientes do relatório de sondagens SPT, apontando o limite do impenetrável entre 1,0m e 1,7m de profundidade.

Figura 5 – Modelo geoeletrico com quatro camadas.



Fonte: arquivo do autor.

A coluna N se refere às camadas apresentadas no resultado, enquanto a coluna ρ representa a resistividade desta camada (apresentada em $\Omega \times \text{metro}$), enquanto h representa a profundidade da camada (expressa em metros). A coluna d apresenta o somatório da profundidade da camada atual com a anterior (expressa em metros).

A Tabela 9 exibe os dados apresentados na ABNT NBR 7.117:2020, com faixas de resistividade conhecidas para determinados tipos de meio físico. No caso das resistividades encontradas para as diferentes camadas e o meio físico determinado através da sondagem SPT é possível verificar compatibilidade com solos argilo-arenosos, validando o modelo.

Tabela 9 – Faixas de resistividade típicas de materiais que compõem o solo.

Meio físico	Faixa de resistividade ($\Omega \times m$)
Água do mar	~0,3
Água de rio	~30
Água destilada	300
Alagadiço, limo, húmus, lama	<150
Argila	300 – 5.000
Calcário	500 – 5.000
Areia	1.000 – 8.000
Granito e basalto fraturados	500 – 10.000
Granito e basalto íntegros	> 10.000

Fonte: adaptado da ABNT NBR 7.117:2020, tabela 1.

7. CONCLUSÃO

As medições em campo e os resultados dos processamentos dos dados demonstram que as medidas apresentaram poucos desvios acima do limite orientado pela ABNT NBR 7.117:2020, desta maneira é possível verificar a existência de homogeneidade do solo e, também, verificar a qualidade das medidas.

É importante salientar que o modelo de solo proposto é calibrado nos resultados da sondagem SPT, realizadas no mesmo local das SEVS. O resultado deste estudo da resistividade de solo, gerado a partir das SEVs, é utilizado para nortear os estudos aplicado(s) à(s) malha(s) de aterramento no local.

Atenciosamente,

Eng. Eletricista Bruno Brum Reis

CREA: RS 152.744

Diretor Executivo

Responsável Técnico pelo relatório

Ativa Serviços Elétricos LTDA

CREA: RS 226.510

SPDA, Subestação e Redes Elétricas - Projeto, instalação e manutenção