

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

ELIOENAI LINCON GUEDES ALVES

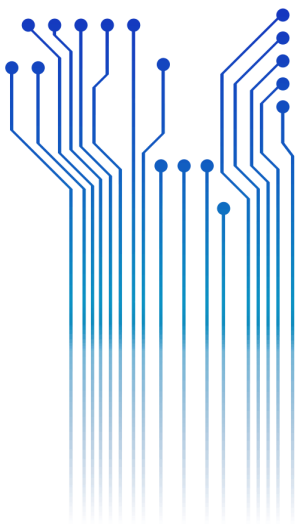


Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
**MEDIÇÃO E ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE E PERMISSIVIDADE  
ELÉTRICAS NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA EM SOLO MEDIANTE  
APLICAÇÃO DE CORRENTES SENOIDAIS.**



Departamento de  
Engenharia Elétrica



CAMPINA GRANDE  
2018

ELIOENAI LINCON GUEDES ALVES

MEDIÇÃO E ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE E PERMISSIVIDADE ELÉTRICAS NO  
DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA EM SOLO MEDIANTE APLICAÇÃO DE CORRENTES  
SENOIDAIS.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de  
Campina Grande como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do título de Bacharel  
em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Orientador:

Professor Ronimack Trajano de Souza, D.Sc.

Área de Concentração: Eletrotécnica

Campina Grande  
2018

ELIOENAI LINCON GUEDES ALVES

MEDIÇÃO E ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE E PERMISSIVIDADE ELÉTRICAS NO DOMÍNIO DA  
FREQUÊNCIA EM SOLO MEDIANTE APLICAÇÃO DE CORRENTES SENOIDAIS.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de  
Campina Grande como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do título de Bacharel  
em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eletrotécnica

Aprovado em 16/08/2018

**Professor Avaliador André Germano Dantas, D.Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Ronimack Trajano de Souza, D.Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha irmã, por todo o amor e dedicação para comigo, por terem sido a peça fundamental para que eu tenha me tornado a pessoa que hoje sou.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu amado Senhor Jesus, que me abençoou e cuidou de mim durante todo o curso, a Ele toda a honra, glória e louvor;

Aos meus pais, Henrique Alves e Jacqueline Alves, por me ensinarem a perseverar, por sempre me incentivarem a ir além das minhas expectativas e a ser otimista mesmo em situações difíceis, por se dedicarem integralmente a minha educação e por me instruírem no caminho da Verdade;

À minha irmã, Rhávila Rachel, por ser minha melhor amiga e está sempre presente e disposta a me ajudar com muito amor;

Ao professor Ronimack Trajano de Souza, pela confiança depositada em mim, uma vez que nos conhecemos tão somente no momento da elaboração desse estudo, por sua compreensão e disponibilidade em me ajudar nesse período em que tive a minha saúde fragilizada. Obrigado, professor, pela colaboração, paciência e pelos conhecimentos repassados;

A todos os professores que contribuíram na minha formação acadêmica;

A todos os funcionários do DEE, em especial, a Tchai e Adail, que estiveram sempre dispostos a me ouvir, orientar e motivar nos momentos mais difíceis do curso. Vocês são 10;

A todos os meus colegas, que durante o curso se tornaram amigos e companheiros, agradeço pelos momentos que compartilhamos estudando, rindo, lanchando juntos. Em especial, Alberto Basílio, Alynne Marla, Rui Francisco, Rodrigo Torres, Bruno, Andreia, Brenda Lorrany, Yuri Medeiros, Pablo Vinícius, Priscila Costa, Polyana Cavalcante... Um abraço a todos vocês!

Eis que o temor do Senhor é a sabedoria e o apartar-se do mal é a inteligência (Jó 28:28).

## RESUMO

O conhecimento das características elétricas do solo é de fundamental importância para a análise do seu comportamento, bem como, para a elaboração de projetos de sistemas de aterramentos para baixas e altas frequências. Nesse sentido, a questão problema que norteou este estudo é: qual o comportamento da condutividade e da permissividade em amostras de solo quando aplicadas correntes elétricas senoidais em diferentes frequências? Os resultados evidenciam uma mudança de comportamento do solo a partir da variação da frequência, uma vez que, em baixas frequências, os parâmetros da condutividade ( $\sigma$ ) e da permissividade ( $\epsilon$ ) do solo permanecem constantes, entretanto, à medida que a frequência aumenta, percebe-se também um aumento em tais parâmetros. Constatou-se que na maioria das aplicações de aterramento não se leva em consideração os parâmetros da condutividade e da permissividade, pois entende-se que o comportamento do solo é puramente resistivo. Tal entendimento é válido apenas para baixas frequências, pois o valor da condutividade é muito maior que o da permissividade. Em altas frequências, porém, deve-se considerar a condutividade e a permissividade, posto que são sensivelmente dependentes da frequência.

**Palavras-chave:** Condutividade. Permissividade. Frequência.

## ABSTRACT

The knowledge of the electrical characteristics of the soil is extremely important for the analysis of soil behavior, as well as for the design of low and high frequency grounding systems. In this sense, the problem issue that guided this study is: what is the behavior of conductivity and permittivity in soil samples when sine wave electric currents are applied at different frequencies? The results show a change in soil behavior from the frequency variation, since at low frequencies the conductivity ( $\sigma$ ) and soil permittivity ( $\epsilon$ ) parameters remain constant, however, as the frequency increases, there is also an increase in such parameters. It was verified that in the majority of the applications of electrical grounding does not take into consideration the parameters of the conductivity and the permittivity, since it is understood that the soil behavior is purely resistive. Such knowledge is valid only for low frequencies, because the conductivity value is much greater than the permittivity. At high frequencies, however, the conductivity and the permittivity must be considered, since they are substantially frequency dependent.

**Keywords:** Conductivity. Permittivity. Frequency.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b> Circuito equivalente da impedância de aterramento .....	4
<b>Figura 2:</b> Características do solo em função da frequência .....	8
<b>Figura 3:</b> Módulo para acomodação das amostras de solo.....	13
<b>Figura 4:</b> Partes constituintes do módulo para acomodação das amostras de solo .....	14
<b>Figura 5:</b> Fixação das laterais maiores do módulo .....	15
<b>Figura 6:</b> Fixação das laterais menores do módulo.....	15
<b>Figura 7:</b> Caixa de madeira para realização dos experimentos.....	16
<b>Figura 8:</b> Chapa de alumínio para inserir a corrente elétrica no solo .....	16
<b>Figura 9:</b> Fixação da placa de à caixa de madeira .....	17
<b>Figura 10:</b> Instalação de um borne.....	17
<b>Figura 11:</b> Plataforma de alumínio .....	18
<b>Figura 12:</b> Perfurações de plataformas de alumínio para fixação dos eletrodos .....	18
<b>Figura 13:</b> Guias para os parafusos .....	19
<b>Figura 14:</b> Implantação de tarraxas .....	19
<b>Figura 15:</b> Redução das hastes de ferro .....	20
<b>Figura 16:</b> Arredondamento das pontas das hastes de ferro .....	20
<b>Figura 17:</b> Fixação das hastes à plataforma de alumínio .....	21
<b>Figura 18:</b> Montagem do circuito - experimento 1 .....	21
<b>Figura 19:</b> Primeiro experimento .....	22
<b>Figura 20:</b> Montagem do circuito – experimento 2 .....	23
<b>Figura 21:</b> Segundo experimento .....	23
<b>Figura 22:</b> eletrodos em placas de alumínio – quarto experimento .....	24
<b>Figura 23:</b> esquema para medição da resistividade do solo em função da frequência .....	25
<b>Figura 24:</b> Experimento 2 – $\sigma, \omega\varepsilon$ em escala linear .....	29
<b>Figura 25:</b> Experimento 2 – $\sigma, \omega\varepsilon$ em escala logarítmica.....	29
<b>Figura 26:</b> Experimento 3 – $\sigma, \omega\varepsilon$ em escala linear.....	32
<b>Figura 27:</b> Experimento 4 – $\sigma, \omega\varepsilon$ em escala linear.....	33
<b>Figura 28:</b> Experimento 3 – $\sigma, \omega\varepsilon$ em escala logarítmica.....	33
<b>Figura 29:</b> Experimento 4 – $\sigma, \omega\varepsilon$ em escala logarítmica.....	34

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1:</b> VALORES TÍPICOS DE RESISTIVIDADE PARA DIFERENTES TIPOS DE SOLOS .....	9
<b>TABELA 2:</b> ANÁLISE DO EXPERIMENTO 2 .....	28
<b>TABELA 3:</b> ANÁLISE DO EXPERIMENTO 3 .....	30
<b>TABELA 4:</b> ANÁLISE DO EXPERIMENTO 4 .....	31

## LISTA DE ABREVIATURAS

SEP *Sistema Elétrico de Potência*

## LISTA DE SIGLAS

$\sigma$	<i>Condutividade</i>
$\epsilon$	<i>Permissividade elétrica</i>
R	<i>Resistência</i>
L	<i>Indutância</i>
G	<i>Condutância</i>
C	<i>Capacitância</i>
$\rho$	<i>Resistividade</i>
$\omega$	<i>Frequência Angular</i>
$\mu$	<i>Permeabilidade magnética</i>
W	<i>Imitância</i>
$\sigma_0$	<i>Condutividade do solo em baixas frequências</i>
$\Delta_i$	<i>Varição de W entre as baixas frequências e 1MHz</i>
$\alpha$	<i>Dependência de W em função da frequência</i>
f	<i>Frequência</i>
VE1	<i>Tensão no eletrodo 1</i>
VE2	<i>Tensão no eletrodo 2</i>
$V_{shunt}$	<i>Tensão no resistor Shunt</i>
$R_{shunt}$	<i>Resistência Shunt</i>
VE	<i>Queda de tensão entre os eletrodos</i>
$I_{CIRCUITO}$	<i>Corrente do circuito</i>
$Y_{SOLO}$	<i>Admitância do solo</i>
S	<i>Área de seção transversal da amostra</i>
d	<i>Distância entre os eletrodos VE1 e VE2</i>
$\varphi$	<i>Ângulo de defasagem entre VE e <math>V_{shunt}</math></i>
$\Delta t$	<i>Defasagem em segundos entre VE e <math>V_{shunt}</math></i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 MOTIVAÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 ATERRAMENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 COMPORTAMENTO ELETROMAGNÉTICO DO SOLO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 CONDUTIVIDADE E PERMISSIVIDADE.....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 MEDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE E PERMISSIVIDADE.....</b>	<b>10</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 MATERIAIS.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 PROCEDIMENTOS.....</b>	<b>12</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 PRIMEIRO EXPERIMENTO.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 SEGUNDO EXPERIMENTO.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3 TERCEIRO E QUARTO EXPERIMENTO.....</b>	<b>30</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>36</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>38</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>40</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das características elétricas do solo é de fundamental importância para a análise do seu comportamento frente aos sinais de tensão e corrente, bem como, para a elaboração de projetos de sistemas de aterramentos para baixas e altas frequências.

O solo apresenta características distintas para sinais de baixa e alta frequência. Nesse sentido, os parâmetros condutividade e permissividade elétrica do solo apresentam significativa influência no comportamento eletromagnético do solo em relação à frequência. A condutividade indica a capacidade dos solos em conduzir corrente elétrica; enquanto que a permissividade exprime o quanto as amostras de solo são influenciadas por um campo elétrico.

Conhecer o comportamento da condutividade e a permissividade elétrica do solo para sinais de baixa e alta frequência poderá contribuir no projeto e estudo do comportamento das malhas de aterramento, de modo a ser considerado também o comportamento eletromagnético do solo.

### 1.1 MOTIVAÇÃO

O interesse em pesquisar a condutividade e a permissividade elétricas no domínio da frequência de amostras de solo surgiu ao identificá-lo em pesquisas desenvolvidas por Portela (1997a; 1997b; 1999; 2000a; 2000b *apud* GERTRUDES, 2005), por Gertrudes (2005) e por Alípio (2008), que demonstraram que a modelagem adequada do solo é primordial no estudo e simulação de aterramentos.

Isto posto, a questão problema que norteará esta pesquisa é: *qual o comportamento da condutividade e da permissividade em amostras de solo quando aplicadas correntes elétricas senoidais em diferentes frequências?*

Para respondê-la, traçou-se os seguintes objetivos:

Geral:

- Avaliar o comportamento da condutividade e permissividade em amostras de solos em função da frequência para sinais senoidais.

Específicos:

- Projetar e construir a estrutura para desenvolvimento dos experimentos em amostras de solo;
- Avaliar as limitações dos ensaios quando utilizada amostras de solo sem controle de compactação.

Este trabalho monográfico está organizado em cinco tópicos e as referências.

No presente tópico *1.Introdução*, contextualizou-se os objetivos e a questão norteadora deste trabalho de conclusão de curso, evidenciado a relevância do estudo sobre a condutividade e permissividade em amostras de solo, quando aplicadas correntes elétricas senoidais em diferentes frequências.

O tópico *2. Revisão Bibliográfica* expõe a fundamentação teórica utilizada no decorrer do presente trabalho e está subdividido em: 2.1 Aterramento; 2.2 Comportamento Eletromagnético do Solo; 2.3 Condutividade e Permissividade; e 2.4 Medição da Condutividade e Permissividade.

O tópico *3. Material e Métodos* apresenta os aspectos metodológicos da pesquisa e está subdividido em: 3.1 Materiais; e 3.2 Procedimentos.

O tópico *4. Resultados* descreve os dados obtidos nos experimentos, por meio de tabelas e gráficos, a partir dos quais, analisou-se a condutividade e a permissividade em amostras de solo, quando aplicadas correntes alternadas senoidais no decorrer da frequência.

Por fim, o tópico *5.Considerações Finais*, têm-se os objetivos alcançados e a resposta a questão norteadora proposta para esse trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para nortear o leitor sobre o conceito de aterramento, será apresentada uma breve fundamentação teórica deste trabalho monográfico, mais especificamente sobre o aterramento, abordando o estudo do comportamento eletromagnético do Solo, no tocante à condutividade e permissividade do solo.

### 2.1 ATERRAMENTO

O conceito de aterramento varia de acordo com a finalidade a que se pretende alcançar com a aplicação do uso do aterramento, nesse sentido, Alípio (2008) demonstra que os profissionais da área de Engenharia Elétrica possuem diferentes visões em relação ao tema, posto que

No caso dos profissionais que atuam na área de Sistemas Elétricos de Potência (SEP), o aterramento elétrico corresponde à necessidade de um caminho de baixa impedância, utilizado como referência do sistema elétrico, e que possa garantir uma rápida atuação da proteção, quando da ocorrência de faltas para a terra, além de manter as tensões de passo e toque dentro de níveis toleráveis aos seres humanos. Para [os] profissionais que atuam na área de Eletrônica e Telecomunicações, em geral, o aterramento elétrico significa garantir um baixo valor de impedância entre os equipamentos, bem como entre os equipamentos e a terra. Já para os profissionais que trabalham com sinais na faixa de rádio frequência, genericamente, o aterramento elétrico constitui-se em um caminho de baixa impedância para as altas frequências, além de ser um dos componentes no processo de propagação de sinais. As distintas visões conduzem a diferentes práticas de execução dos aterramentos elétricos em instalações (ALÍPIO, 2008, p. 7-8) [grifos nossos].

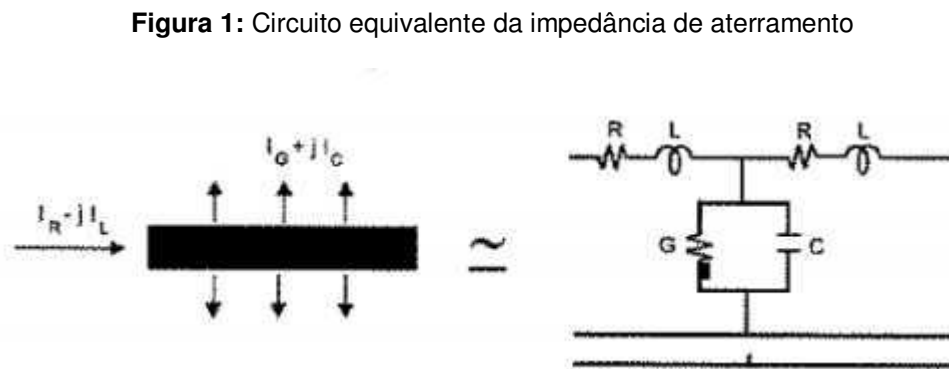
Compreende-se, portanto, que independente da aplicação a que se destina o uso do aterramento, o mesmo estará associado a duas finalidades básicas, quais sejam: funcionalidade do sistema elétrico aterrado (neutro) e proteção da rede elétrica, de equipamentos e usuários. Visto que, o aterramento configura um percurso alternativo para que o fluxo de uma corrente indesejada seja transmitido dos condutores vivos para a terra, permitindo que os dispositivos de proteção da rede atuem, garantido a segurança de pessoas e instalações (BELLAN, et al., 2016, p. 75).



Desse modo, o aterramento liga intencionalmente um sistema físico ao solo, por meio de três componentes basilares: a) os condutores que conectam o sistema as hastes de aterramento; b) as hastes de aterramento (qualquer corpo metálico inserido no solo); e c) o solo que cerca a haste.

É necessário pontuar que esse trabalho monográfico visa observar o comportamento do solo, mediante a incidência de correntes senoidais no domínio da frequência, compreendendo-se que a capacidade de condução da corrente para a terra depende do solo e suas características elétricas; de modo que, a resistência oferecida pelo solo à incidência de uma corrente elétrica se expressa por meio da impedância do aterramento, que pode ser quantificada através da relação entre a tensão aplicada ao aterramento e a corrente resultante (VISACRO FILHO, 2002).

Visacro Filho (2002) ilustra a natureza da impedância do aterramento por meio de um circuito equivalente, conforme demonstra a Figura 1 a seguir:



Fonte: VISACRO FILHO. 2002.

Para Visacro Filho (2002), considerando uma porção limitada do eletrodo, os quatro componentes representados na Figura 1 (Resistência (R), Indutância (L), Condutância (G) e Capacitância (C)) compõem a corrente dissipada para o solo. Essa corrente, ao ser injetada no eletrodo, será distribuída, em parte, para o solo e, em parte, para o comprimento restante do eletrodo.

Em relação à corrente longitudinal no comprimento restante da haste, verificam-se perdas internas no condutor e o estabelecimento de um campo magnético na área ao redor do condutor. Em termos de circuito equivalente, Visacro Filho (2002) afirma

que o somatório das energias correspondentes pode ser simplificado por meio de uma resistência e uma indutância em série.

Em contrapartida,

o campo elétrico no solo (um meio de resistividade  $\rho$  e permissividade  $\epsilon$ ), determina o fluxo de correntes condutiva e capacitiva no meio. A relação entre tais correntes não depende da geometria dos eletrodos, mas tão somente da relação “ $\sigma/\omega\epsilon$ ”, onde  $\sigma$  refere-se à condutividade do solo e  $\omega$  à frequência angular. A energia associada ao fluxo dessas correntes transversais pode ser computada por meio de uma condutância e uma capacitância, colocadas em paralelo no circuito equivalente (VISACRO FILHO, 2002, p. 14).

Na maioria das aplicações de aterramento não se leva em consideração a permissividade, entendendo, assim, o comportamento do solo puramente resistivo. Esse comportamento é válido apenas para baixas frequências, pois o valor da condutividade é muito maior que o da permissividade ( $\epsilon$ ), isto é,  $\sigma \gg \omega\epsilon$ . Por esse motivo, o solo é representado apenas pela condutividade elétrica ou pela sua resistividade elétrica, que é definida como  $\rho = 1/\sigma$  (SILVA, 2016).

Diferentemente, em altas frequências, considera-se tanto a condutividade, como a permissividade, visto que são sensivelmente dependentes da frequência. Em alta frequência, a permissividade aumenta, permitindo assim um maior acúmulo de fluxo de campo elétrico por parte do solo. Esse acúmulo provoca o crescimento da corrente capacitiva, antes desconsiderada em baixas frequências. Dessa forma, deve-se levar em consideração tanto a corrente resistiva como a corrente capacitiva do solo. Assim, o presente trabalho observará as características elétricas do solo em baixa e alta frequências, mediante a incidência de correntes senoidais.

## 2.2 COMPORTAMENTO ELETROMAGNÉTICO DO SOLO

Visando o desempenho satisfatório dos sistemas de aterramento, é necessário apreciar o solo, que em condições lineares, é caracterizado pela “condutividade elétrica, permissividade elétrica e pela permeabilidade magnética ( $\mu$ ), que são parâmetros associados à propagação do campo eletromagnético devido a uma corrente injetada” (SILVA, 2016, p. 46).

Em relação à permeabilidade magnética, os solos apresentam valores constantes e próximos a permeabilidade magnética do vácuo, salvo em áreas onde existem grandes concentrações de minerais derivados de ferromagnéticos. Neste deste trabalho, a permeabilidade magnética do solo será representada pelo valor equivalente a permeabilidade magnética do vácuo, ou seja,  $\mu_{solo} \cong 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$  (NOGUEIRA, 2006; ROCHA, 2007).

Como já discorrido anteriormente, em baixas frequências, o solo exprime em desempenho puramente resistivo, de modo que as suas características dielétricas podem ser desconsideradas diante da condutividade; diferentemente, em altas frequências, as características dielétricas do solo são evidenciadas e, portanto, faz-se necessário considerar os parâmetros condutividade e permissividade ao longo da variação da frequência.

Segundo Getrudes (2005), Portela (1997a; 1997b; 1999; 2000a; 2000b *apud* GERTRUDES, 2005) desenvolveu modelos físicos-matemáticos para representar o comportamento do solo em função da frequência. Neste trabalho de conclusão de curso será utilizado o modelo da imitância ( $W$ ) com o intuito de validar as medições de campo realizadas no experimento e analisadas no (4. Resultados). Considera-se como imitância o número complexo ( $\sigma + j\omega\varepsilon$ ).

Os estudos de Portela (1997a; 1997b; 1999; 2000a; 2000b *apud* GERTRUDES, 2005), Gertrudes (2005), Nogueira (2006) e Rocha (2007) afirmam que o modelo da imitância ( $W$ ), do tipo  $\sigma + j\omega\varepsilon$ , indica que as características do solo podem ser estabelecidas a partir de três parâmetros estatisticamente independentes – quais sejam: condutividade do solo em baixas frequências ( $\sigma_0$ ); variação de  $\sigma + j\omega\varepsilon$  entre as baixas frequências e 1 MHz ( $\Delta_i$ ); e dependência de  $W$  em função da frequência ( $\alpha$ ) – em concordância com a expressão:

$$W(f) = \sigma + j\omega\varepsilon = \sigma_0 + \Delta_i \cdot \left[ \cot\left(\frac{\pi}{2}\alpha\right) + j \right] \cdot (f \cdot 10^{-6})^\alpha \quad (1)$$

Em que:

$\sigma_0$  – Condutividade do solo em baixas frequências (100 Hz) [S/m];

$\Delta_i$  – Variação de  $\sigma + j\omega\varepsilon$  entre as baixas frequências e 1 MHz

$\alpha$  – Dependência de  $W$  em função da frequência

$f$  – Frequência [Hz]

Em síntese, evidencie-se que o parâmetro  $\sigma_0$  pode ser obtido por meio de medições usuais em baixa frequências, a exemplo do Método de Wenner; e os parâmetros  $\alpha$  e  $\Delta_i$  podem ser determinados pelo exame dos dados de medições alcançados através de técnicas laboratoriais, a exemplo das descritas em Portela (1999) (SILVA, 2016).

É importante destacar que pesquisas desenvolvidas por Portela (2002) indicam, em termos estatísticos, valores razoáveis para os parâmetros  $\alpha$  e  $\Delta_i$ , de modo que, em solos brasileiros o valor de  $\sigma_0$  é de  $1000 \Omega.m$ , considerando (SALARI FILHO, 2006):

Valores medianos:

$$\Delta_i \cong 11,71 \text{ mS/metro};$$

$$\alpha \cong 0,706;$$

Valores razoavelmente seguros:

$$\Delta_i \cong 9,23 \text{ mS/metro};$$

$$\alpha \cong 0,806;$$

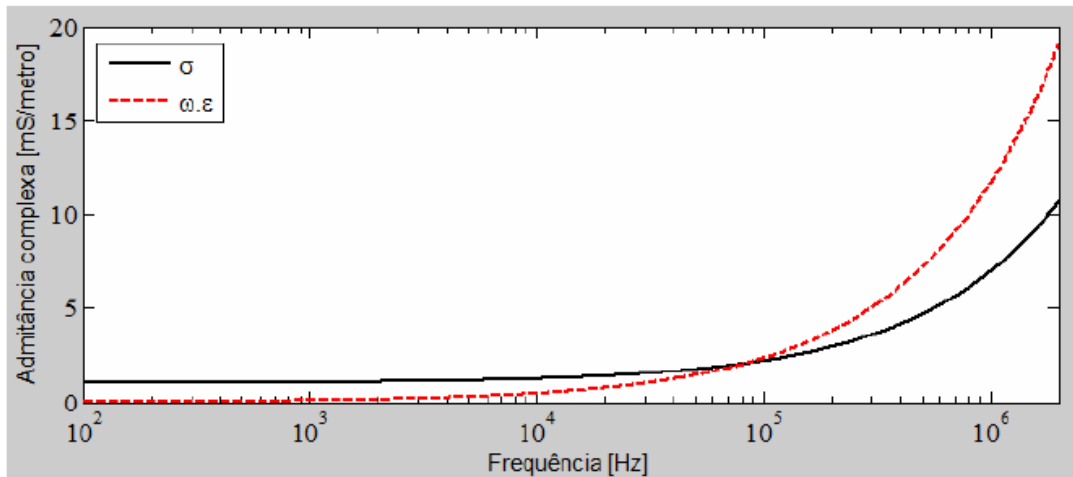
ou

$$\Delta_i \cong 7,91 \text{ mS/metro};$$

$$\alpha \cong 0,856;$$

Na Figura 2, a seguir, observa-se como é o comportamento do solo em função da frequência, a partir dos valores medianos de  $\alpha$  e  $\Delta_i$ .

**Figura 2:** Características do solo em função da frequência



FONTE: ROCHA, 2007

Na Figura 2, é possível contrapor a condutividade elétrica e a característica dielétrica ( $\omega\epsilon$ ) do solo, evidenciando uma variação de comportamento do solo a partir da variação da frequência, posto que, em baixas frequências (entre 0 a 1 kHz), a condutividade elétrica e a característica dielétrica do solo permanecem constantes, entretanto, a medida que a frequência aumenta, percebe-se também um aumento tanto da condutividade elétrica, quanto da dielétrica do solo.

Isso ocorre porque, em baixas frequências, a condutividade do solo “depende de características físicas e químicas do solo devido ao fato da condução de corrente no solo se dar basicamente de forma eletrolítica”; enquanto que, em altas frequências, “o fenômeno físico da condutividade do solo está fortemente associado a um processo dissipativo, devido às características dielétricas do meio, e não às características físico-químicas” (ROCHA, 2007, p. 48).

Apenas para destacar, as características físico-químicas do solo, que influenciam na determinação da resistividade do solo, quando aplicadas baixas frequências, variam a depender do tipo ou natureza do solo, como se verifica na tabela 1, abaixo.

**TABELA 1:** VALORES TÍPICOS DE RESISTIVIDADE PARA DIFERENTES TIPOS DE SOLOS

Natureza dos Solos	Resistividade ( $\Omega.m$ )	
	Mínima	Máxima
Solos alagadiços e pantanosos	-	30
Lodo	20	100
Húmus	10	150
Argilas plásticas	-	50
Argilas compactas	100	200
Argila seca	1.500	5.000
Argila com 40% de umidade	-	80
Argila com 20% de umidade	-	330
Argila com 90% de umidade	-	1.300
Areia comum	3.000	8.000
Solo pedregoso nu	1500	3.000
Solo pedregoso coberto com relva	300	500
Calcários moles	100	400
Calcários compactos	1.000	5.000
Calcários fissurados	500	1.000
Xisto	50	300
Micaxisto	-	800
Granito e arenito	500	10.000

FONTE: ROCHA, 2007.

A Tabela 1, conforme pontua Rocha (2007), relaciona diferentes tipos de solos a uma faixa de valores usuais de resistividade, em frequências industriais; demonstrando que a resistividade do solo pode variar em função de características físicas e químicas dos solos, dentre as quais, pode-se ressaltar a umidade, a temperatura e a composição química do solo.

Em relação à umidade, pode-se afirmar que quanto menor for a umidade do solo, maior será o grau da sua resistividade, posto que haverá baixo nível de condutividade elétrica no solo. Tratando-se da temperatura do solo, depreende-se que esta influencia diretamente na umidade do solo, tendo em vista que, em áreas de elevadas temperaturas, os processos de evaporação aumentam e, conseqüentemente, a quantidade de água no solo diminui, reduzindo sua condutividade; e, em áreas de baixas temperaturas, tem-se também a redução da condutividade elétrica do solo, pois a água constante no solo tende a solidificar (ROCHA, 2007).

A respeito da composição química do solo, compreende-se que a resistividade do solo está ligada a quantidade de água retida nele e considerando que a

resistividade da água é controlada pelos sais dissolvidos nela, deduz-se que a resistência do solo é influenciada pela quantidade e pelos tipos de sais dissolvidos na água retida no mesmo (VISACRO FILHO, 2002).

### **2.3 CONDUTIVIDADE E PERMISSIVIDADE**

É importante considerar que a condutividade elétrica é a capacidade que um material tem de conduzir corrente elétrica, sendo, portanto, o inverso da resistividade elétrica ( $\rho$ ), em que  $\sigma = 1/\rho$ ; de modo que os materiais podem ser classificados como condutores, semicondutores e isolantes, posto que a partir da variabilidade na composição físico-química dos materiais há uma variação na condutividade elétrica.

Compreende-se, portanto, que a condutividade elétrica está relacionada à qualidade que um material tem para conduzir eletricidade, que pode ser medida pela intensidade de corrente por unidade de tensão. Já a permissividade elétrica representa a capacidade que o material tem de permitir o acúmulo de um fluxo de campo elétrico. Como já afirmamos anteriormente, tanto o valor da condutividade como o valor da permissividade do solo, muda a partir da variação da frequência.

### **2.4 MEDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE E PERMISSIVIDADE**

Como demonstrado no tópico *1. Introdução*, o interesse em pesquisar a condutividade e a permissividade elétricas no domínio da frequência de amostras de solo surgiu ao identificá-lo em pesquisas desenvolvidas por Gertrudes (2005), que analisou amostras de solo da Região de Cachoeira Paulista/São Paulo.

Gertrudes (2005) coletou oito amostras de solo em duas etapas (quatro amostras nos dias 24 a 25 de julho de 2002 e quatro amostras nos dias 31 a 01 de agosto de 2002), tendo cuidado na remoção das amostras e na qualidade dos contatos elétricos entre a amostra, os eletrodos e as placas de cobre.

Nesse sentido, Gertrudes (2005) indica que as amostras devem ser retiradas a uma profundidade suficiente para eliminar os efeitos de superfície (tais como: sol, vento, vegetação e raízes). Destacando também que é necessário ter o máximo de cuidado na preservação da estrutura físicas das amostras, visando evitar fissuras durante a coleta. Nas palavras de Gertrudes (2005),

Para avaliação das características elétricas foi necessário coletar amostras relativamente homogêneas e com dimensões apropriadas para cada tipo de “material” em estudo. Em se tratando de amostras de solos arenosos ou rochosos outros tipos de geometrias e dimensões são adotadas. De acordo com Portela [6], para avaliar o comportamento de solos razoavelmente consistentes e homogêneos, o procedimento apropriado é a coleta de amostras em forma de cuboide (1,20 m x 0,2 m x 0,2 m) a uma profundidade suficiente de modo a evitar os efeitos de superfície já comentados (aproximadamente 1,5 m) (GERTRUDES, 2005, p. 21).

Assim, Gertrudes (2005) tomou precaução de assegurar a manutenção da consistência e umidade natural do solo, com o intuito de preservar suas características locais durante a medição da condutividade e da permissividade no domínio da frequência.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Este tópico descreve o material e os métodos empregados na medição e determinação dos parâmetros condutividade e permissividade em amostras de solo. O trabalho compreende três etapas, assim distribuídas:

- Projeto, desenvolvimento e aplicação de um sistema de medição das características elétricas do solo;
- Ensaio de levantamento da condutividade e permissividade em amostras de solo frente a sinais senoidais em diversas frequências, utilizando o sistema desenvolvido;
- Desenvolvimento e aplicação de uma rotina computacional para determinação dos parâmetros condutividade e permissividade nas amostras de solo ensaiadas.

#### 3.1 MATERIAIS

Para elaboração do experimento, utilizou-se os seguintes materiais:

- Folhas de MDF (*Medium Density Fiberboard*), em português, placa de fibra de média densidade;
- Acessórios de fixação (parafusos, porcas e arruelas);
- Chapas de alumínio de #1,2 mm;
- Hastes de aço galvanizado de Ø10 mm;
- Sistema de injeção e medição das grandezas elétricas (gerador de sinais senoidais, década resistiva; osciloscópio digital, pontas de prova, multímetros e condutores elétricos).

#### 3.2 PROCEDIMENTOS

Inicialmente, idealizou-se um módulo para acomodação das amostras de solo, com dimensões baseadas no trabalho de Gertrudes (2005). No projeto do módulo foram consideradas as seguintes características:

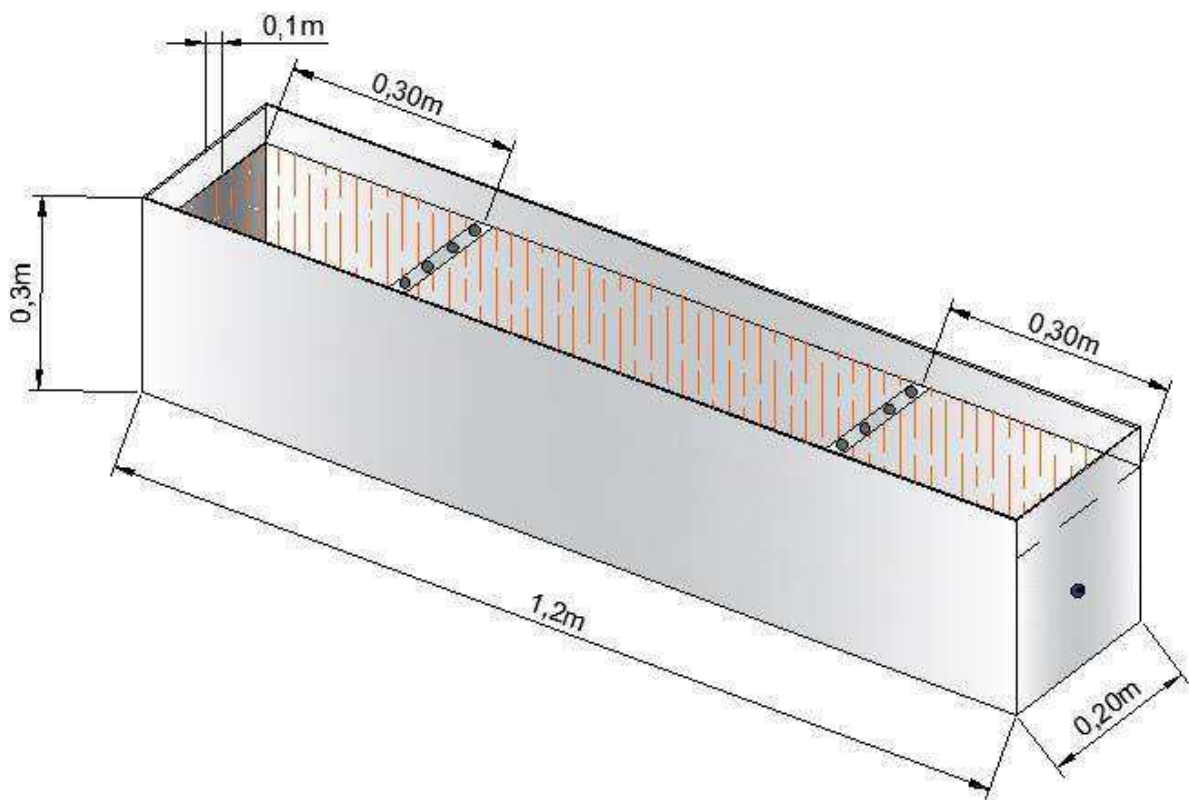
- Ser confeccionada a partir da utilização de material isolante;
- Possuir resistência mecânica para suportar o peso e a pressão do solo, além dos esforços das etapas de compactação do solo;
- Apresentar peso compatível para facilitar a mobilidade;
- Apresentar baixo custo de aquisição e confecção.

Em função das características apresentadas, optou-se pela confecção de um módulo em MDF.

- Etapa 1: Projeto do módulo para acomodação das amostras de solo: Em função do trabalho de Gertrudes (2005) foi projetada um módulo (caixa) com as dimensões (1,2 x 0,2 x 0,2 m).

Na Figura 3 é apresentado o esboço do módulo para acomodação das amostras de solo.

**Figura 3:** Módulo para acomodação das amostras de solo.



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

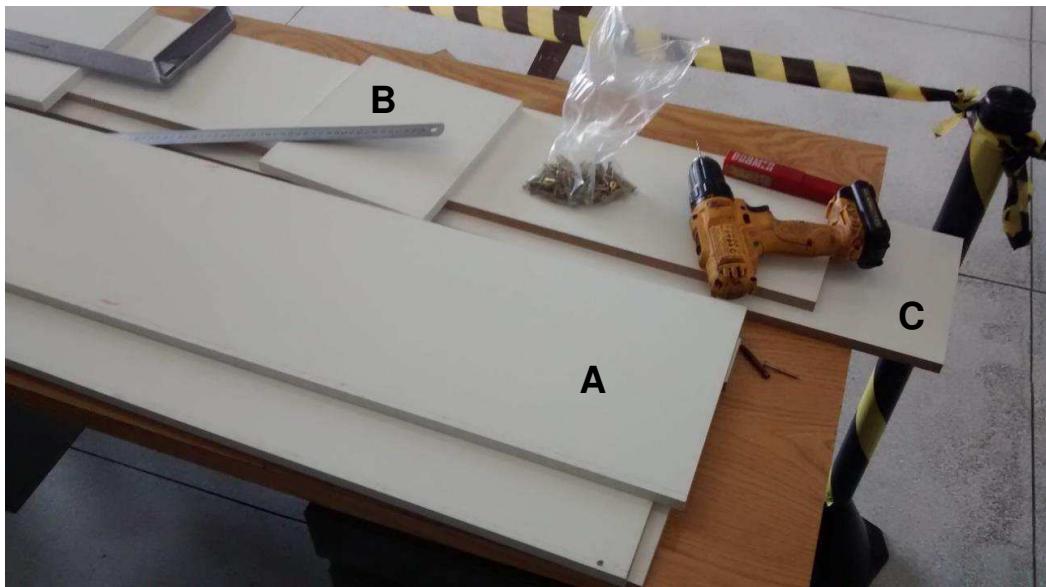
- Etapa 2: Contratação de mão de obra qualificada para fornecimento da estrutura física do módulo para acomodação das amostras de solo: Em

função das dimensões apresentadas na etapa 1, foram adquiridas peças de MDF nas seguintes dimensões:

- Duas peças com dimensões 0,245 x 1,20 m para compor as duas laterais do módulo (caixa) com maior dimensão, denominada peça A;
- Duas peças com dimensões 0,23 x 0,245 m para compor as duas laterais do módulo (caixa) com menor dimensão, denominada peça B;
- Uma peça com dimensões 0,2 x 1,20 m para compor a base do módulo (caixa), denominada peça C.

Na Figura 4 são apresentadas as partes constituintes do módulo para acomodação das amostras de solo.

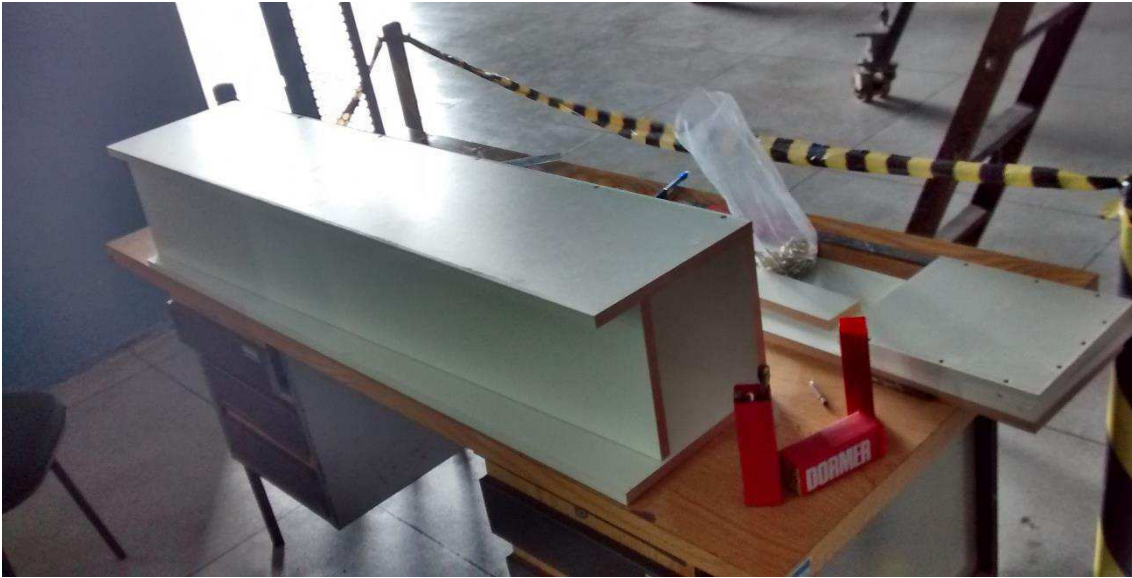
**Figura 4:** Partes constituintes do módulo para acomodação das amostras de solo



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

- Etapa 3: Montagem do módulo para acomodação das amostras de solo: De posse das peças de MDF, iniciou-se a montagem do módulo (caixa). Além das peças de MDF foram utilizados materiais, como parafusos, porcas, arruelas, além de ferramentas para furação do MDF e fixação das peças. Nas Figuras 5 a 10 são apresentadas as fases de montagem do módulo.

**Figura 5:** Fixação das laterais maiores do módulo



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**Figura 6:** Fixação das laterais menores do módulo



FONTE: PRÓPRIA, 2018.



**Figura 7:** Caixa de madeira para realização dos experimentos



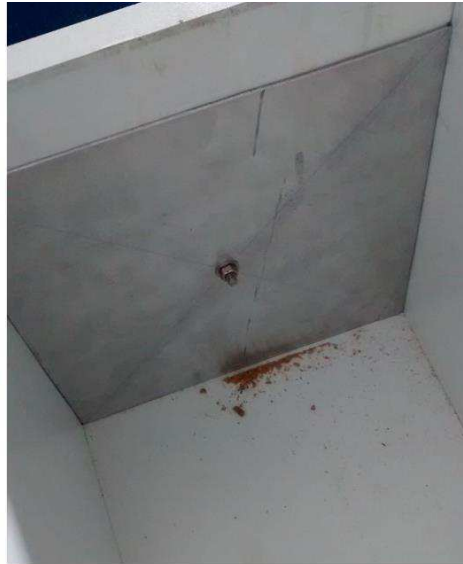
FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**Figura 8:** Chapa de alumínio para inserir a corrente elétrica no solo



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**Figura 9:** Fixação da placa de à caixa de madeira



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**Figura 10:** Instalação de um borne



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

Após a elaboração do módulo de madeira, confeccionou-se os eletrodos para a captação dos sinais elétricos, a partir dos seguintes passos:

1. Preparação das plataformas de alumínio com dimensões de 0,20x0,03x0,01 m (Figura 11), onde se fixaram os eletrodos – Perfurações com espaçamentos de 0,05 m de distância entre os furos e 0,025 m de distância das bordas (Figura 12); formação dos guias para os parafusos (Figura 13);

e implantação de tarraxas dentro da plataforma de alumínio para garantir a fixação dos eletrodos (Figura 14);

**Figura 11:** Plataforma de alumínio



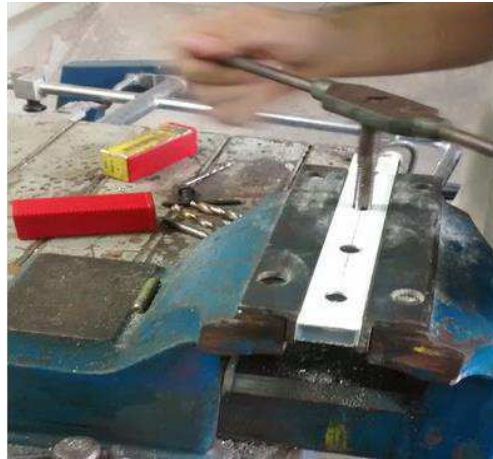
FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**Figura 12:** Perfurações de plataformas de alumínio para fixação dos eletrodos



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**Figura 13:** Guias para os parafusos



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**Figura 14:** Implantação de tarraxas



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

2. Produção dos eletrodos – Redução do tamanho de oito hastes de ferro para 0,15 m (Figura 15); extirpação arredondada das pontas das hastes, para facilitar a entrada das mesmas no solo (Figura 16); e fixação das hastes de ferro nas plataformas de alumínio (Figura 17);



**Figura 15:** Redução das hastes de ferro



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**Figura 16:** Arredondamento das pontas das hastes de ferro



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

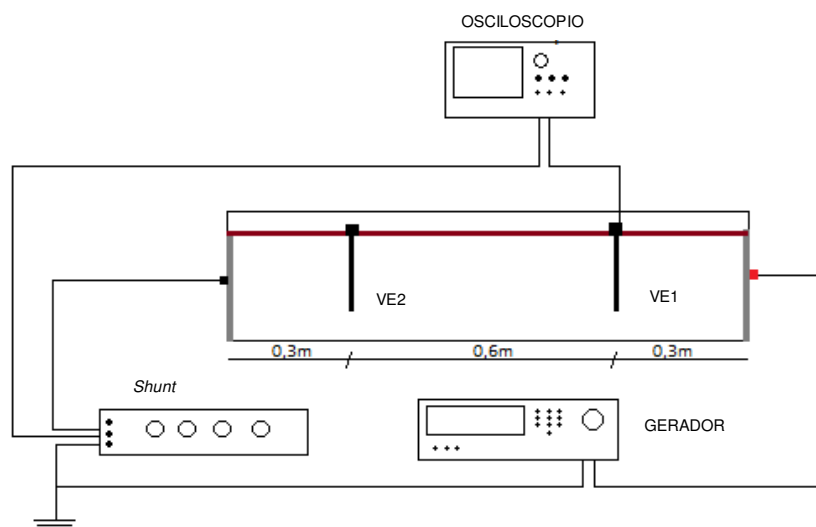
**Figura 17:** Fixação das hastes à plataforma de alumínio



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

Depois de concluir a produção do material necessário para o experimento, fez-se a primeira montagem para avaliação do circuito com a finalidade de promover melhorias. Posteriormente, foi realizado o **primeiro experimento**: na área lateral do Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande, colheu-se areia suficiente para preencher a caixa de madeira; forrou-se a caixa com um plástico transparente para impermeabilizá-la, a fim de evitar o contato direto da terra com a madeira; e verificou-se como seria feita a montagem do circuito, conforme figura 18 a seguir:

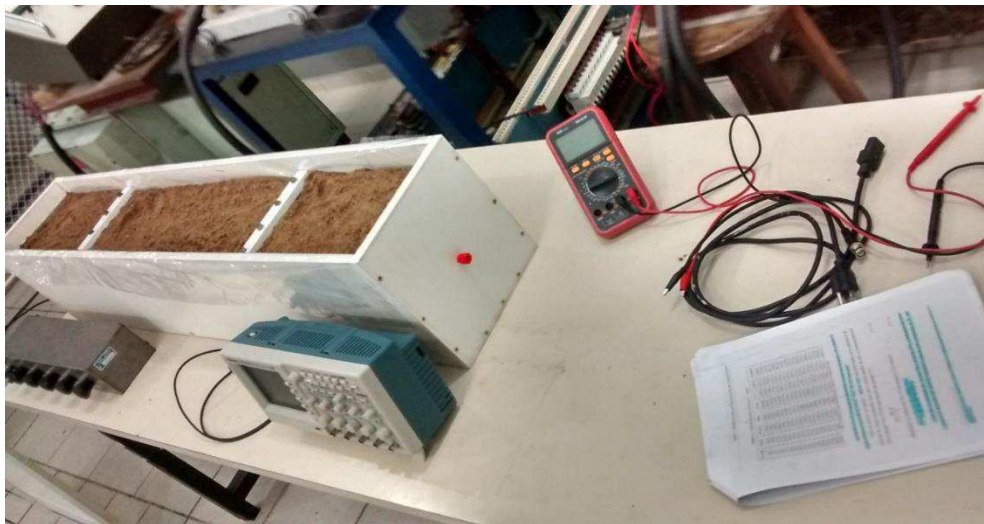
**Figura 18:** Montagem do circuito - experimento 1



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

Nesse primeiro experimento (Figura 19), utilizou-se uma década resistiva para a Resistência *shunt*, um osciloscópio com duas pontas de prova, fios para conexões e um gerador de sinais senoidais. De modo que, com o auxílio de um multímetro, ajustou-se a resistência da década para  $47 \Omega$ ; ligou-se uma ponta de prova em um eletrodo e outra ponta de prova no resistor, com a finalidade de medir a tensão sobre os mesmos. Na montagem do gerador de sinais, colocou-se, em um lado da caixa de madeira, a ponta positiva do gerador de sinais senoidais e, no outro lado da caixa, colocou-se a década resistiva em série; e a ponta negativa do gerador, ligou-se ao aterramento.

**Figura 19:** Primeiro experimento

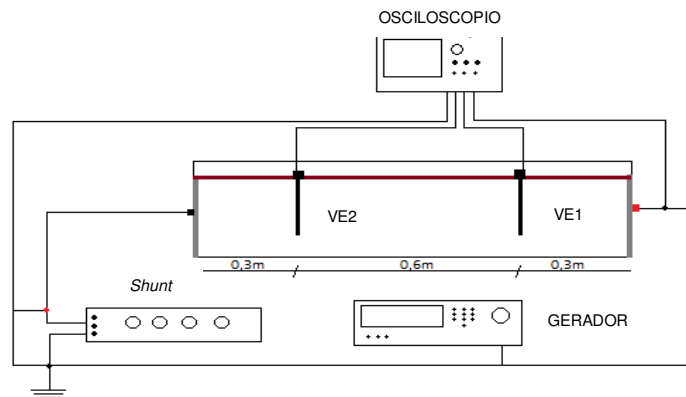


FONTE: PRÓPRIA, 2018.

O primeiro experimento evidenciou algumas dificuldades, tanto na montagem do circuito, quanto nas medições dos sinais. Posto que, constatou-se a necessidade de mais uma ponta de prova para o segundo eletrodo, a fim de possibilitar o cálculo da queda de tensão na amostra. Verificou-se também que a areia é uma terra que possui alta resistência e, apesar da umidade, não foi possível medir a amplitude da corrente que atravessou a caixa.

No **segundo experimento**, além dos equipamentos já utilizados no primeiro experimento, utilizou-se um osciloscópio com quatro pontas de prova e a areia, usada no primeiro experimento, foi substituída por terra (colhida em um terreno localizado nas proximidades da Universidade Federal de Campina Grande). Nesse experimento, a montagem do circuito foi realizada nos moldes da Figura 20.

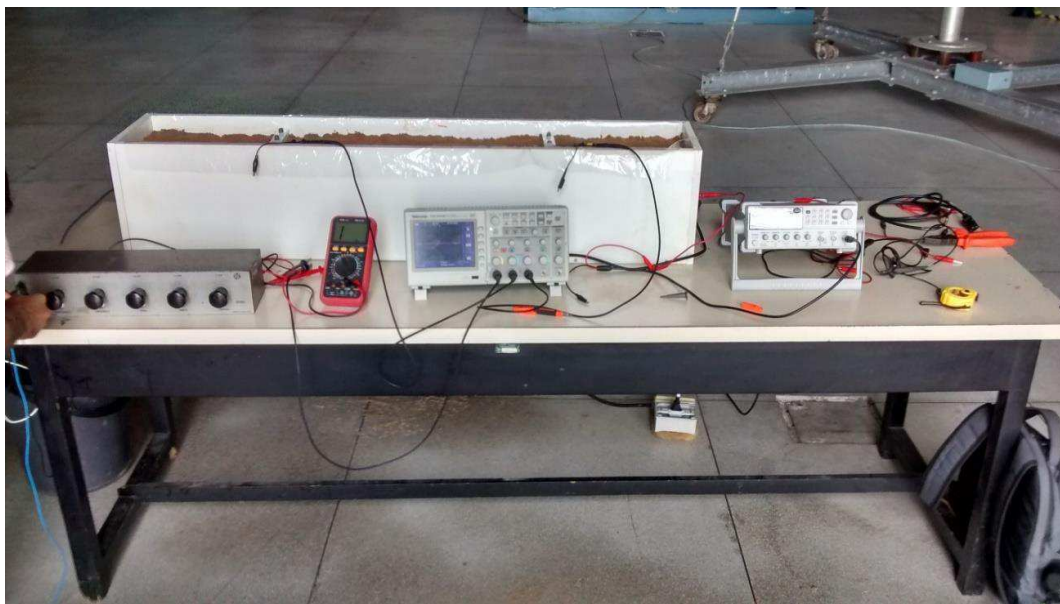
**Figura 20:** Montagem do circuito – experimento 2



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

Conforme demonstra a Figura 20, no segundo experimento, conectou-se uma ponta de prova em cada eletrodo, uma outra ponta de prova na década resistiva e ainda outra ponta de prova na saída do gerador de sinais. Desse modo, o sinal senoidal foi aplicado, com variação de frequência entre 60 Hz à 2 MHz, e os dados foram coletados (Figura 21).

**Figura 21:** Segundo experimento



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

Após o segundo experimento, ainda foi realizado o terceiro e quarto experimento, sendo o terceiro experimento semelhante ao segundo e o quarto experimento foram modificados os eletrodos, trocando as hastes de ferros por placas de alumínio (Figura 22).

**Figura 22:** Eletrodos em placas de alumínio – quarto experimento



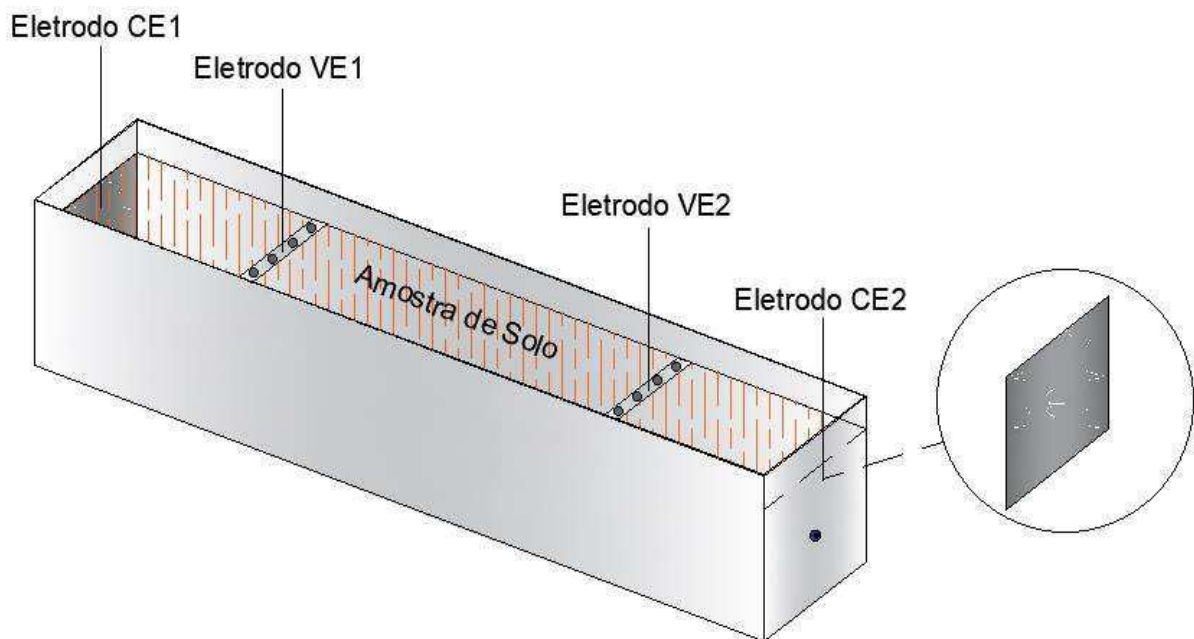
FONTE: PRÓPRIA, 2018.



#### 4. RESULTADOS

Para a realização da medição dos parâmetros do solo, como demonstrado no tópico 3. *Material e Métodos*, em cada experimento, por meio de um gerador de sinal de frequência variável, foi injetada uma corrente senoidal na faixa de 60 Hz a 2 MHz, que circulou pela amostra e produziu uma queda de tensão entre os eletrodos, de modo que, utilizando a função matemática do osciloscópio, verificou-se o valor da diferença de tensão entre os eletrodos VE1 e VE2 (Figura 23).

**Figura 23:** Esquema para medição da resistividade do solo em função da frequência



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

A corrente senoidal injetada no circuito é medida por meio da tensão no resistor *shunt* ( $V_{shunt}$ ), em que o valor do resistor *shunt* ( $R_{shunt}$ ) é conhecido. De modo que, com os valores da queda de tensão entre os eletrodos (VE) e a tensão no resistor *shunt*, podem-se obter a corrente do circuito ( $I_{circuito}$ ) e a admitância<sup>1</sup> do solo ( $Y_{solo}$ ), através das seguintes equações:

<sup>1</sup> Inverso da impedância.

$$I_{circuito} = \frac{V_{shunt}}{R_{shunt}} \quad (2)$$

$$|Y_{solo}| = \frac{I_{circuito}}{V_E} \quad (3)$$

Evidencie-se que a admitância incremental entre as duas chapas de alumínio fixadas na paredes laterais da caixa de madeira é dada por:

$$Y_{solo} = \frac{\Delta I}{\Delta V} = (\sigma + j\omega\varepsilon) \cdot \frac{S}{d} \quad (4)$$

Em que:

$Y_{solo}$  – Admitância medida

$S$  – Área de seção transversal da amostra (m<sup>2</sup>)

$d$  – Distância entre os eletrodos de tensão (VE1 e VE2)

Conforme demonstrado no tópico 2. *Revisão Bibliografica* e na fórmula supratranscrita, a imitância ( $W(f) = \sigma + j\omega\varepsilon$ ) está relacionada com a admitância. De maneira que, desenvolvendo a equação da admitância, obtem-se:

$$|Y_{solo}| = \frac{|W| \cdot S}{d} \quad (5)$$

$$|W| = \left| Y_{solo} \cdot \frac{d}{S} \right| = \left| \frac{I_{circuito}}{V_E} \cdot \frac{d}{S} \right| = \frac{V_{shunt}}{R_{shunt} \cdot |V_E|} \cdot \frac{d}{S} \quad (6)$$

Mediante os experimentos realizados com as amostras foram coletados os valores das amplitudes de tensão ( $V_{shunt}$  e  $VE$ ), a defasagem de tempo ( $\Delta t$ ) entre os sinais e as dimensões das amostras ( $d$  e  $S$ ). Essa coleta permitiu calcular o valor real e imaginário da imitância ( $W$ ), que indica o comportamento da condutividade e permissividade do solo no domínio da frequência, respectivamente.

$$\sigma = |W| \cdot \cos \varphi = \frac{|V_{shunt}|}{R_{shunt} \cdot |V_E|} \cdot \frac{d}{S} \cos \varphi \quad (7)$$

$$\omega\varepsilon = |W| \cdot \sin \varphi = \frac{|V_{shunt}|}{R_{shunt} \cdot |V_E|} \cdot \frac{d}{S} \sin \varphi \quad (8)$$

$$\varphi = 360 \cdot \Delta t \cdot f \quad (9)$$

Em que:

$f$  – Frequência do sinal injetado

$\Delta t$  – Defasagem em segundos entre os sinais de tensão VE e  $V_{shunt}$ .

Para a análise e processamento dos dados coletados nos experimentos foi elaborado um código, utilizando o *software* MATLAB (Apêndice A), para calcular cada um dos parâmetros, quais sejam: VE,  $V_{shunt}$ ,  $I_{circuito}$ ,  $\Delta t$ ,  $\varphi$ ,  $\sigma$ ,  $\omega\varepsilon$ , no decorrer da variação da frequência. Para facilitar a visualização dos resultados, os dados foram dispostos em tabelas e gráficos, como será demonstrado nos próximos parágrafos.

#### 4.1 PRIMEIRO EXPERIMENTO

Conforme evidenciado anteriormente, não foi possível fazer a análise da primeira amostra, pois o experimento demonstrou algumas dificuldades, tanto na montagem do circuito, quanto nas medições dos sinais. Posto que, constatou-se a necessidade de mais uma ponta de prova para o segundo eletrodo, a fim de possibilitar o cálculo da queda de tensão na amostra. Verificou-se também que a areia é uma terra que possui alta resistência e, apesar da umidade, não foi possível medir a amplitude da corrente que atravessou a caixa.

#### 4.2 SEGUNDO EXPERIMENTO

Para o **segundo experimento**, realizado no dia 23 de maio de 2018, foi coletada uma nova amostra de solo e após análise, os dados foram sintetizados na tabela 2, a seguir:



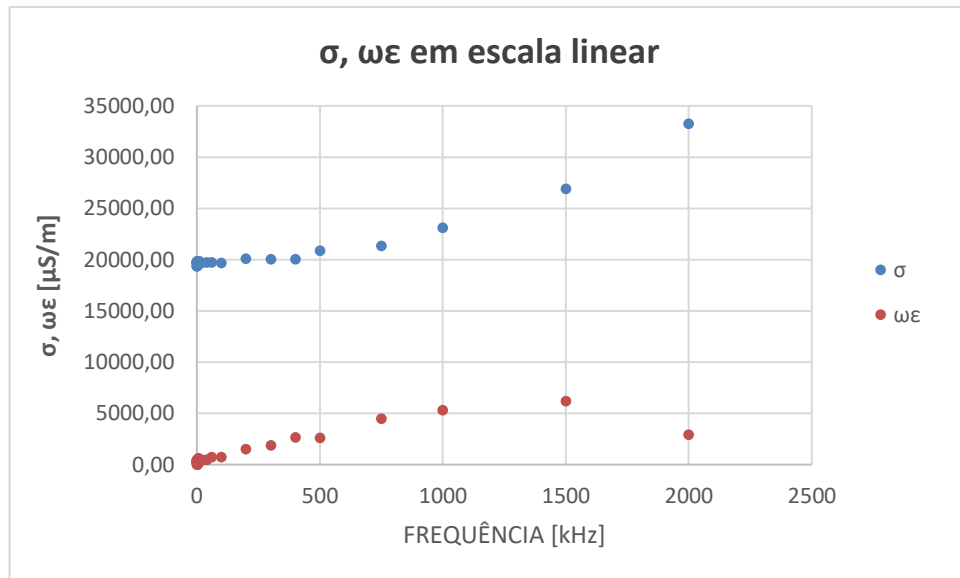
**TABELA 2: ANÁLISE DO EXPERIMENTO 2**

FREQ.[Hz]	VE [V]	VR [V]	I [mA]	$\Delta T$ [ $\mu$ s]	$\phi$ [°]	$\sigma$ [mS/m]	$\omega\epsilon$ [ $\mu$ S/m]
60	1,680	0,102	2,170	60,000	1,2960	19,3719	438,2578
120	1,680	0,104	2,213	20,000	0,8640	19,7546	297,9148
240	1,680	0,104	2,213	0,000	0,0000	19,7568	0,0000
300	1,680	0,104	2,213	10,000	1,0800	19,7533	372,3856
360	1,680	0,104	2,213	4,000	0,5184	19,7560	178,7532
420	1,680	0,104	2,213	8,000	1,2096	19,7524	417,0656
480	1,680	0,102	2,170	4,000	0,6912	19,3755	233,7517
1000	1,680	0,102	2,170	4,000	1,4400	19,3708	486,9433
1500	1,640	0,102	2,170	2,000	1,0800	19,8460	374,1322
2000	1,640	0,102	2,170	2,000	1,4400	19,8432	498,8200
2500	1,680	0,104	2,213	1,000	0,9000	19,7544	310,3269
3000	1,680	0,104	2,213	0,000	0,0000	19,7568	0,0000
4000	1,680	0,104	2,213	1,000	1,4400	19,7506	496,4912
5000	1,680	0,104	2,213	1,000	1,8000	19,7471	620,5773
10000	1,640	0,102	2,170	0,200	0,7200	19,8479	249,4297
15000	1,720	0,106	2,255	0,200	1,0800	19,6650	370,7202
20000	1,720	0,106	2,255	0,200	1,4400	19,6623	494,2708
40000	1,680	0,104	2,213	0,100	1,4400	19,7506	496,4912
60000	1,680	0,104	2,213	0,100	2,1600	19,7428	744,6389
100000	1,720	0,106	2,255	0,060	2,1600	19,6545	741,3086
200000	1,680	0,106	2,255	0,060	4,3200	20,0796	1516,8392
300000	1,680	0,106	2,255	0,050	5,4000	20,0474	1895,0382
400000	1,640	0,104	2,213	0,052	7,4880	20,0661	2637,4796
500000	1,640	0,108	2,298	0,040	7,2000	20,8514	2634,1442
750000	1,640	0,112	2,383	0,044	11,8800	21,3287	4486,8861
1000000	1,560	0,116	2,468	0,036	12,9600	23,1271	5322,3012
1500000	1,480	0,128	2,723	0,024	12,9600	26,8990	6190,3373
2000000	1,320	0,138	2,936	0,007	5,0400	33,2366	2931,2053

FONTE: PRÓPRIA, 2018.

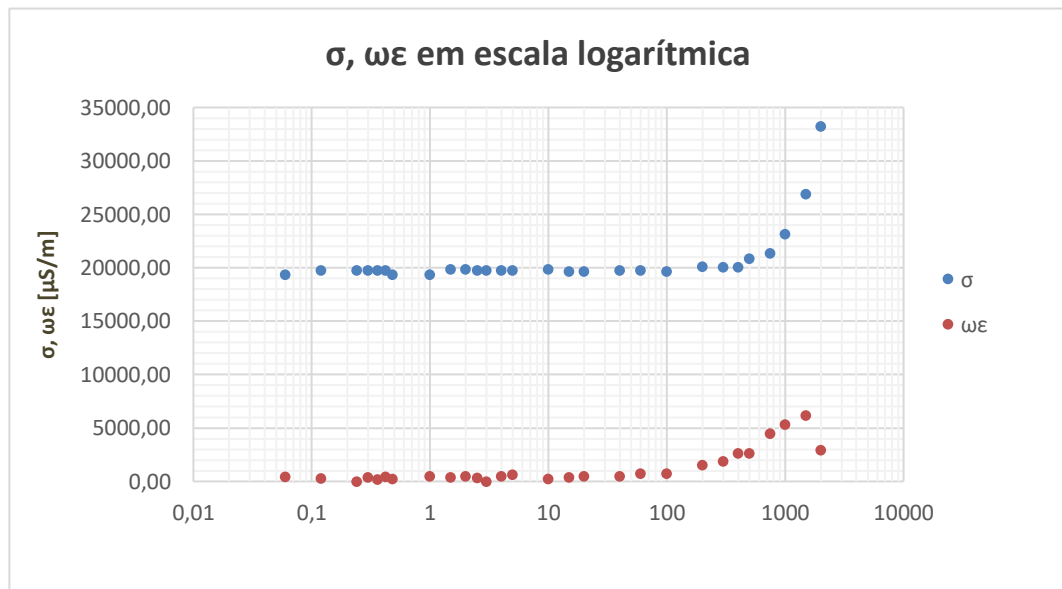
A partir dos dados expostos na Tabela 2, foi possível elaborar dois gráficos, um em escala linear (Figura 24) e o outro em escala logarítmica (Figura 25), indicando a condutividade e a permissividade em função da frequência.

**Figura 24:** Experimento 2 –  $\sigma$ ,  $\omega\epsilon$  em escala linear



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**Figura 25:** Experimento 2 –  $\sigma, \omega\epsilon$  em escala logarítmica



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

Como pode ser observado, nas Figuras 24 e 25, o comportamento da condutividade nesse experimento foi constante até cerca de 400 kHz, a partir daí a condutividade apresentou dependência com a frequência, tornando-se mais acentuada. Já a permissividade é, praticamente, nula até certa de 100 kHz e a partir

desse valor, apresentou o mesmo comportamento que a condutividade em relação a frequência.

Com o aumento da permissividade em altas frequências, o solo apresenta uma maior capacidade para acumular fluxos de campo elétrico, provocando assim o aumento da corrente capacitiva. De modo que, a corrente elétrica no solo é composta pela soma de duas correntes, a corrente condutiva e a corrente capacitiva.

Ao comparar os dados desse segundo experimento, com o valor teórico demonstrado no tópico 2. *Revisão Bibliográfica*, subtópico 2.2 *Comportamento Eletromagnético do Solo* (Figura 2), verifica-se que o comportamento das curvas são semelhantes, apesar dos valores da permissividade se encontrarem bem abaixo dos valores da condutividade.

### 4.3 TERCEIRO E QUARTO EXPERIMENTO

No dia 05 de julho de 2018, foram realizados o terceiro e o quarto experimentos com a mesma amostra de terra do segundo experimento. A diferença entre aqueles experimentos foi o tipo de eletrodo utilizado, tendo em vista que, no **terceiro experimento** os eletrodos foram hastes de ferro e no **quarto experimento** os eletrodos foram placas de alumínio.

E, embora tenha ocorrido uma mudança de eletrodos, os dados coletados evidenciam uma semelhança entre o terceiro e o quarto experimento, conforme se observa nas Tabelas 3 e Tabela 4, a seguir.

**TABELA 3: ANÁLISE DO EXPERIMENTO 3**

FREQ.[Hz]	VE [V]	VR [V]	I [mA]	$\Delta T$ [ $\mu s$ ]	$\varphi$ [°]	$\sigma$ [mS/m]	$\omega\epsilon$ [ $\mu S/m$ ]
60	1,440	0,120	2,553	-110,000	2,3760	26,5729	1102,5835
120	1,440	0,120	2,553	-40,000	1,7280	26,5837	801,9872
240	1,480	0,120	2,553	-26,000	2,2464	25,8571	1014,2993
300	1,440	0,120	2,553	-24,000	2,5920	26,5685	1202,7528
360	1,480	0,120	2,553	-18,000	2,3328	25,8555	1053,2896
420	1,440	0,120	2,553	24,000	3,6288	26,5424	1683,3025
480	1,480	0,120	2,553	-13,000	2,2464	25,8571	1014,2993
1000	1,480	0,120	2,553	12,000	4,3200	25,8034	1949,2273
1500	1,480	0,120	2,553	2,400	1,2960	25,8703	585,2727
2000	1,440	0,120	2,553	-5,200	3,7440	26,5390	1736,6658
2500	1,440	0,120	2,553	6,000	5,4000	26,4777	2502,8807

3000	1,480	0,120	2,553	0,800	0,8640	25,8740	390,2003
4000	1,480	0,120	2,553	-0,800	1,1520	25,8717	520,2517
5000	1,440	0,120	2,553	2,400	4,3200	26,5202	2003,3725
10000	1,440	0,120	2,553	1,200	4,3200	26,5202	2003,3725
15000	1,440	0,120	2,553	0,720	3,8880	26,5345	1803,3600
20000	1,480	0,120	2,553	-0,040	0,2880	25,8766	130,0711
40000	1,480	0,120	2,553	0,080	1,1520	25,8717	520,2517
60000	1,480	0,120	2,553	0,270	5,8320	25,7430	2629,4058
100000	1,440	0,120	2,553	0,110	3,9600	26,5322	1836,7028
200000	1,440	0,120	2,553	0,088	6,3360	26,4333	2935,0748
300000	1,440	0,120	2,553	0,094	10,1520	26,1794	4687,7702
400000	1,440	0,120	2,553	0,058	8,3520	26,3137	3863,1438
500000	1,400	0,120	2,553	0,076	13,6800	26,5796	6469,5774
750000	1,400	0,120	2,553	0,048	12,9600	26,6588	6135,0664
1000000	1,360	0,160	3,404	0,019	6,8400	37,2797	4471,7332
1500000	1,280	0,160	3,404	0,012	6,6960	39,6215	4651,6516
2000000	1,160	0,200	4,255	-0,008	5,7600	54,7479	5522,4715

FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**TABELA 4: ANÁLISE DO EXPERIMENTO 4**

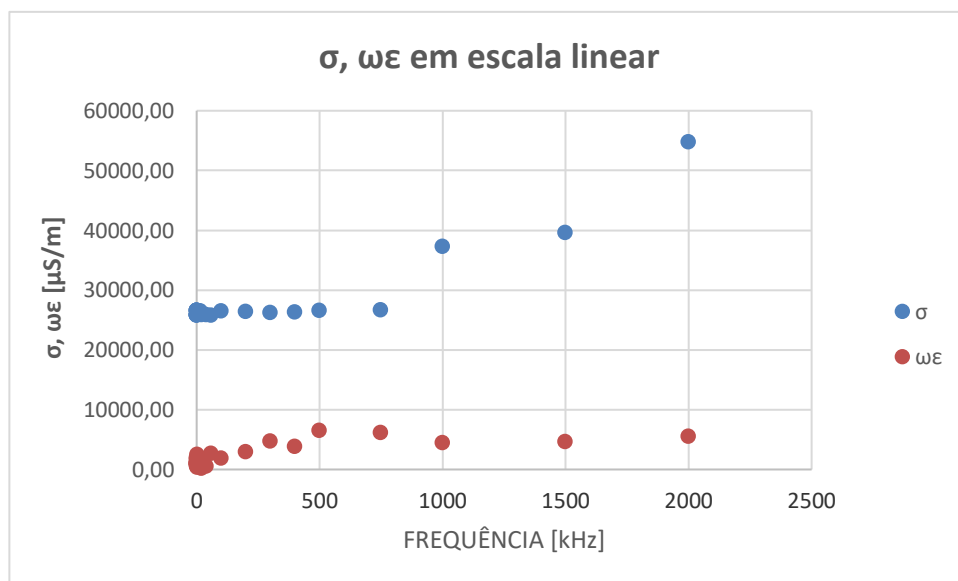
FREQ.[Hz]	VE [V]	VR [V]	I [mA]	$\Delta T$ [ $\mu$ s]	$\phi$ [°]	$\sigma$ [mS/m]	$\omega\epsilon$ [ $\mu$ S/m]
60	1,44	0,120	2,553	-10,000	0,2160	26,5956	100,2634
120	1,44	0,120	2,553	8,000	0,3456	26,5953	160,4208
240	1,44	0,120	2,553	8,000	0,6912	26,5938	320,8357
300	1,44	0,120	2,553	-26,000	2,8080	26,5638	1302,9050
360	1,44	0,120	2,553	-14,000	1,8144	26,5824	842,0734
420	1,44	0,120	2,553	0,000	0,0000	26,5957	0,0000
480	1,44	0,120	2,553	-8,000	1,3824	26,5880	641,6248
1000	1,44	0,120	2,553	15,000	5,4000	26,4777	2502,8807
1500	1,48	0,120	2,553	5,600	3,0240	25,8409	1365,1188
2000	1,48	0,120	2,553	-2,400	1,7280	25,8652	780,3118
2500	1,48	0,120	2,553	3,200	2,8800	25,8443	1300,1692
3000	1,44	0,120	2,553	1,800	1,9440	26,5804	902,1992
4000	1,44	0,120	2,553	-1,200	1,7280	26,5837	801,9872
5000	1,44	0,120	2,553	3,200	5,7600	26,4615	2669,1945
10000	1,44	0,120	2,553	1,100	3,9600	26,5322	1836,7028
15000	1,44	0,120	2,553	0,280	1,5120	26,5865	701,7637
20000	1,44	0,120	2,553	0,080	0,5760	26,5944	267,3651
40000	1,44	0,120	2,553	0,040	0,5760	26,5944	267,3651
60000	1,44	0,120	2,553	0,310	6,6960	26,4143	3101,1011
100000	1,44	0,120	2,553	0,070	2,5200	26,5700	1169,3648
200000	1,44	0,120	2,553	0,100	7,2000	26,3860	3333,3307
300000	1,44	0,120	2,553	0,130	14,0400	25,8012	6452,1072
400000	1,44	0,120	2,553	0,076	10,9440	26,1121	5049,1882

500000	1,40	0,120	2,553	0,084	15,1200	26,4086	7135,4819
750000	1,40	0,120	2,553	0,038	10,2600	26,9182	4872,4547
1000000	1,32	0,160	3,404	0,019	6,8400	38,4094	4607,2402
1500000	1,24	0,200	4,255	0,009	4,9680	51,2823	4457,7565
2000000	1,16	0,200	4,255	-0,010	7,2000	54,5918	6896,5462

FONTE: PRÓPRIA, 2018.

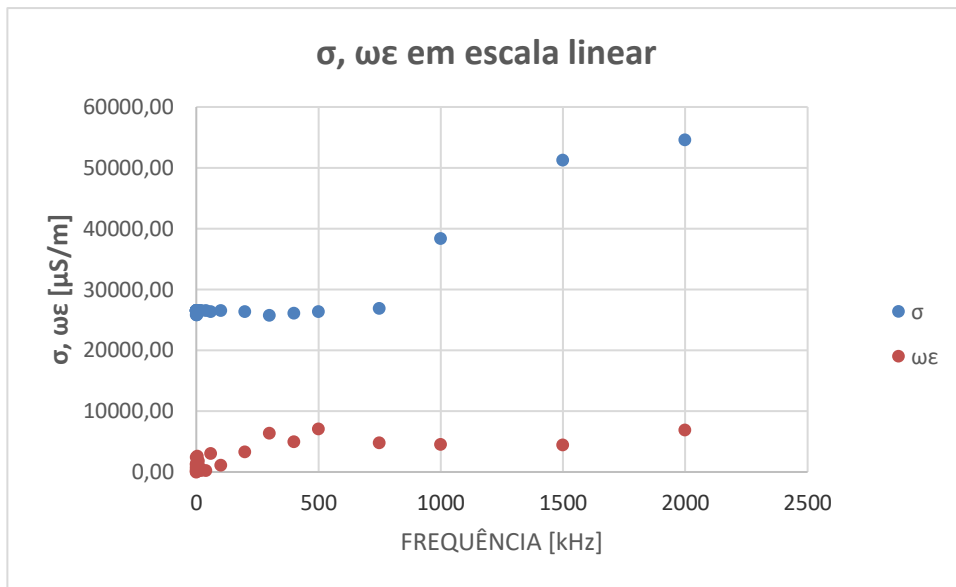
Os dados supratranscritos (Tabelas 3 e 4) foram traduzidos em gráficos que indicam a condutividade e a permissividade em função da frequência, nas escalas lineares (Figuras 26 e 27, respectivamente, para os experimentos 3 e 4) e logarítmicas (Figuras 28 e 29, respectivamente, para os experimentos 3 e 4).

**Figura 26:** Experimento 3 –  $\sigma, \omega\epsilon$  em escala linear



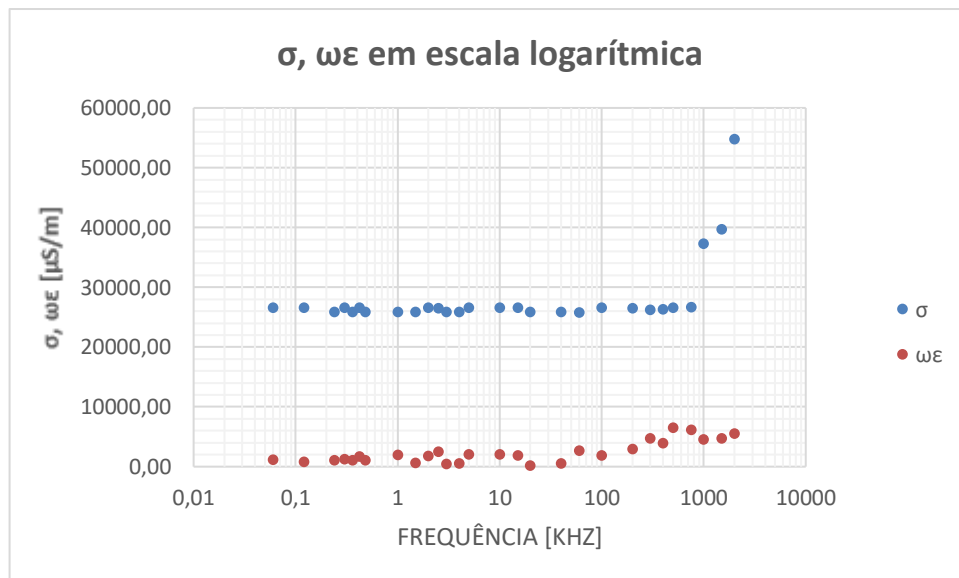
FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**Figura 27:** Experimento 4 –  $\sigma, \omega\epsilon$  em escala linear



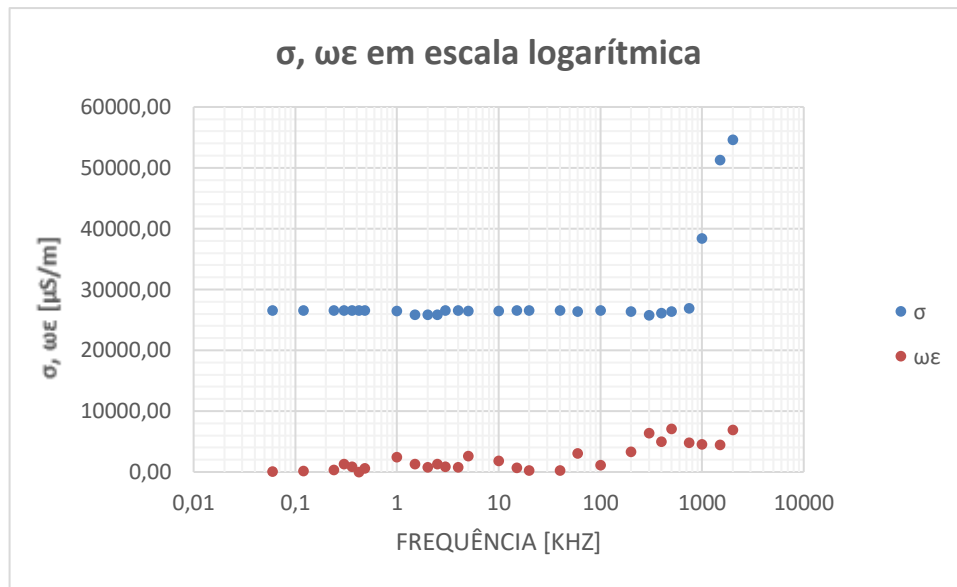
FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**Figura 28:** Experimento 3 –  $\sigma, \omega\epsilon$  em escala logarítmica



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

**Figura 29:** Experimento 4 –  $\sigma, \omega\epsilon$  em escala logarítmica



FONTE: PRÓPRIA, 2018.

Apesar dos eletrodos serem diferentes, observa-se nos gráficos acima, que o comportamento tanto da condutividade como da permissividade, nos experimentos 3 e 4, são semelhantes, evidenciando-se que a diferença dos eletrodos não influenciou nos resultados obtidos.

As Figuras 28 e 29 indicam que o comportamento da condutividade nos experimentos 3 e 4, respectivamente, são constantes até cerca de 750 kHz, quando a condutividade aumenta em dependência da frequência, tornando-se mais acentuada. Já a permissividade apresentou pequenas oscilações, sempre próximo de zero até certa de 100 kHz, quando se constatou um pequeno aumento dependente da frequência, mesmo que desordenadamente.

No segundo, terceiro e quarto experimento, verificou-se que a condutividade e a permissividade sofreram influência a partir de determinada frequência. Destaca-se que do segundo experimento para o terceiro e quarto experimento ocorreu uma perda de condutividade na amostra do solo em função da frequência, uma vez que, no segundo experimento, o aumento da condutividade se deu a partir de 400 kHz, enquanto que nos terceiro e quarto experimentos, tal aumento se deu apenas a partir de 750 kHz. Em relação a permissividade, no segundo experimento, observa-se que sua curva foi um pouco mais definida e acentuada do que a do terceiro e quarto experimento.

Embora esses experimentos tenham utilizados a mesma amostra de solo, o lapso temporal entre a realização do segundo experimento e o terceiro e quarto experimentos foi de 45 dias, influenciando os resultados, posto que a umidade na amostra do solo diminuiu. Assim, é importante destacar que para a modelagem adequada do solo é preciso preservar o máximo possível as características originais das amostras.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As reflexões acerca das características da condutividade e da permissividade em amostras de solos, quando aplicadas correntes elétricas senoidais com frequência variável, permitiram cumprir os objetivos mencionados na introdução – *Avaliar o comportamento da condutividade e permissividade em amostras de solos em função da frequência para sinais senoidais; Projetar e construir a estrutura para desenvolvimento dos experimentos em amostras de solo; e avaliar as limitações dos ensaios quando utilizado amostras de solo sem controle de compactação.*

Uma mudança de comportamento do solo a partir da variação da frequência foi verificada nas análises de dados coletados nos experimentos, uma vez que, em baixas frequências, a condutividade e a permissividade do solo permaneceram constantes, entretanto, a medida que a frequência aumentou, percebeu-se também um aumento tanto da condutividade, quanto da permissividade. Assim, o efeito global dessa variação de  $\sigma$  e  $\omega\epsilon$  no decorrer da frequência indica, fisicamente, uma redução da impedância de aterramento.

Deve-se salientar que, nas aplicações de aterramento, o efeito do tipo e das características do solo são primordiais na avaliação da mudança dos valores da condutividade e da permissividade em diferentes frequências, considerando que existem solos com maior ou menor resistividade, a depender de seus fatores físico-químicos, a exemplo da umidade, concentração e tipos de sais dissolvidos na água, temperatura, compacidade do solo, dentre outros.

Nesse sentido, é necessário destacar que as amostras de solo utilizadas nos experimentos, não passaram por um processo de compactação, de maneira que, verificou-se algumas limitações nos ensaios, quais sejam: fissuras no solo, durante a inserção dos eletrodos; e o aumento da resistividade – visto que, um solo compacto apresenta maior continuidade física, proporcionando um maior valor de condutividade elétrica.

Ao relacionarmos o comportamento eletromagnético do solo a aplicação de aterramento, constata-se, nos resultados obtidos neste trabalho, que, em baixas frequências, a corrente elétrica capacitiva no solo é desprezível em relação à corrente condutiva, em decorrência da baixa permissividade. Entretanto, em altas frequências, tem-se o aumento da permissividade, ocasionando o crescimento da corrente

capacitiva; de maneira que, a corrente dissipada pelo aterramento é composta pelo somatório das correntes capacitiva e condutiva, podendo sobrecarregá-lo.

Conclui-se que a determinação do comportamento dos parâmetros condutividade e permissividade deve ser o mais próximo possível da realidade, a fim de determinar a melhor configuração de um sistema de aterramento, sendo essencial verificar a configuração da malha de aterramento e o nível de corrente para ajuste da proteção.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALÍPIO, R. S. Modelagem Eletromagnética de Aterramentos Elétricos nos Domínios do Tempo e da Frequência. **Dissertação**. Belo Horizonte/MG, 2008.

BELLAN, J. C.; CECCATTO, D. T.; MACARIO, D. D.; SGARBOSA, M. D. O aterramento elétrico como forma de prevenção a sobretensões causadas por descargas atmosféricas. **Linguagem Acadêmica**. v. 6, n. 1, p. 69-100, Batatais/SP. Jan/Jun 2016

GERTRUDES, J. B. Comportamento Eletromagnético do Solo no Domínio da Frequência: Tratamento de Dados de Campo e Influência no Desempenho de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica. **Dissertação**. Campinas/SP, 2005.

NOGUEIRA, R. L. S. Análise do sistemas de aterramento sob solicitações impulsivas: otimização e critérios de segurança em aterramentos de estruturas de linhas de transmissão. **Dissertação**. Rio de Janeiro/RJ, 2006.

PORTELA, C. Measurement and Modeling of Soil Electromagnetic Behavior. **Anais do IEEE 1999 International Symposium on Electromagnetic Compatibility**, IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineers - EMC Society, pp. 1004-1009, Agosto 1999, EUA.

SALARI FILHO, J. C. Efeito das descargas atmosféricas no desempenho de linhas de transmissão – modelagens nos domínios do tempo e da frequência. **Tese**. Rio de Janeiro/ RJ, 2006.

SILVA, B. P. Modelagem e solução de aterramentos sujeitos a surtos de corrente: respostas nos domínios da frequência e do tempo. **Dissertação**. Goiânia, 2016.

ROCHA, P. L. Introdução à modelagem de sistemas de aterramento. **Monografia**. Rio de Janeiro/RJ, 2007.

VISACRO FILHO, S. **Aterramentos elétricos:** conceitos básicos, técnicas de medição e instrumentação, filosofias de aterramento. São Paulo: Artliber, 2002.

## APÊNDICE A

Código desenvolvido no *software* MATLAB para facilitar a análise e processamento dos dados coletados nos experimentos, visando calcular os parâmetros:  $V_E$ ,  $V_{shunt}$ ,  $I_{circuito}$ ,  $\Delta t$ ,  $\varphi$ ,  $\sigma$ ,  $\omega\varepsilon$  no decorrer da variação da frequência:

```
#Aba coleta_dados

clc

frequencia =xlsread('TABELA DE DADOS AMOSTRAS.xlsx', 'B3:B30' );
osciloscopio =xlsread('TABELA DE DADOS AMOSTRAS.xlsx', 'C3:C30' );

freq= frequencia(1);
tosc = osciloscopio(1);
filename='F0001CH3.CSV';
parametros
filename='F0001MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r1=[freq, tosc, VEymax, VRymax, corrente, tempo,
ang, condutividade, permissividade];%Lista dos dados calculados

freq= frequencia(2);
tosc = osciloscopio(2);
filename='F0002CH3.CSV';
parametros
filename='F0002MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r2=[freq, tosc, VEymax, VRymax, corrente, tempo,
ang, condutividade, permissividade];%Lista dos dados calculados

freq= frequencia(3);
tosc = osciloscopio(3);
filename='F0003CH3.CSV';
parametros
filename='F0003MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r3=[freq, tosc, VEymax, VRymax, corrente, tempo,
ang, condutividade, permissividade];%Lista dos dados calculados

freq= frequencia(4);
tosc = osciloscopio(4);
filename='F0004CH3.CSV';
parametros
filename='F0004MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r4=[freq, tosc, VEymax, VRymax, corrente, tempo,
ang, condutividade, permissividade];%Lista dos dados calculados
```

```

freq= frequencia(5);
tosc = osciloscopio(5);
filename='F0005CH3.CSV';
parametros
filename='F0005MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r5=[freq, tosc, VEymax, VRymax, corrente, tempo,
ang, condutividade, permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(6);
tosc = osciloscopio(6);
filename='F0006CH3.CSV';
parametros
filename='F0006MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r6=[freq, tosc, VEymax, VRymax, corrente, tempo,
ang, condutividade, permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(7);
tosc = osciloscopio(7);
filename='F0007CH3.CSV';
parametros
filename='F0007MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r7=[freq, tosc, VEymax, VRymax, corrente, tempo,
ang, condutividade, permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(8);
tosc = osciloscopio(8);
filename='F0008CH3.CSV';
parametros
filename='F0008MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r8=[freq, tosc, VEymax, VRymax, corrente, tempo,
ang, condutividade, permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(9);
tosc = osciloscopio(9);
filename='F0009CH3.CSV';
parametros
filename='F0009MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r9=[freq, tosc, VEymax, VRymax, corrente, tempo,
ang, condutividade, permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(10);
tosc = osciloscopio(10);
filename='F0010CH3.CSV';
parametros
filename='F0010MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r10=[freq, tosc, VEymax, VRymax, corrente, tempo,
ang, condutividade, permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(11);
tosc = osciloscopio(11);
filename='F0011CH3.CSV';
parametros
filename='F0011MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r11=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(12);
tosc = osciloscopio(12);
filename='F0012CH3.CSV';
parametros
filename='F0012MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r12=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(13);
tosc = osciloscopio(13);
filename='F0013CH3.CSV';
parametros
filename='F0013MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r13=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(14);
tosc = osciloscopio(14);
filename='F0014CH3.CSV';
parametros
filename='F0014MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r14=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(15);
tosc = osciloscopio(15);
filename='F0015CH3.CSV';
parametros
filename='F0015MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r15=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(16);
tosc = osciloscopio(16);
filename='F0016CH3.CSV';
parametros
filename='F0016MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r16=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(17);
tosc = osciloscopio(17);
filename='F0017CH3.CSV';
parametros
filename='F0017MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r17=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(18);
tosc = osciloscopio(18);
filename='F0018CH3.CSV';
parametros
filename='F0018MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r18=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(19);
tosc = osciloscopio(19);
filename='F0019CH3.CSV';
parametros
filename='F0019MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r19=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(20);
tosc = osciloscopio(20);
filename='F0020CH3.CSV';
parametros
filename='F0020MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r20=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(21);
tosc = osciloscopio(21);
filename='F0021CH3.CSV';
parametros
filename='F0021MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r21=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(22);
tosc = osciloscopio(22);
filename='F0022CH3.CSV';
parametros
filename='F0022MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r22=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```



```

freq= frequencia(23);
tosc = osciloscopio(23);
filename='F0023CH3.CSV';
parametros
filename='F0023MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r23=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(24);
tosc = osciloscopio(24);
filename='F0024CH3.CSV';
parametros
filename='F0024MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r24=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(25);
tosc = osciloscopio(25);
filename='F0025CH3.CSV';
parametros
filename='F0025MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r25=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(26);
tosc = osciloscopio(26);
filename='F0026CH3.CSV';
parametros
filename='F0026MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r26=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(27);
tosc = osciloscopio(27);
filename='F0027CH3.CSV';
parametros
filename='F0027MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r27=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```

freq= frequencia(28);
tosc = osciloscopio(28);
filename='F0028CH3.CSV';
parametros
filename='F0028MTH.CSV';
parametros2
defasagem
r28=[freq, tosc,VEymax,VRymax,corrente,tempo,
ang,condutividade,permissividade];%Lista dos dados calculados

```

```
format long
xlswrite('NomeDoArquivoXLS', [r1;r2;r3;r4;r5;r6;r7;r8;r9;r10;r11;r12;r13;r14;
;r15;r16;r17;r18;r19;r20;r21;r22;r23;r24;r25;r26;r27;r28]);
```

### #Aba defasagem

```
format long
tempo=abs(tVRzero)-abs(tVEzero);%o valor do tempo da defasagem
ang= 360*abs(tempo)*freq;%conversão do valor de tempo para graus
w=(corrente*0.6)/(VEymax*0.04);%Modulo da condutividade e permissividade na
forma polar
angrad=(pi*ang)/180;%Angulo da condutividade e permissividade na forma
polar
condutividade= abs(w)*cos(angrad);%Valor da condutividade
permissividade=abs(w)*sin(angrad);%Valor da permissividade
```

### #Aba parametros

```
%CALCULO DOS PARAMETROS DE AMPLITUDE DE VR
```

```
deliminator = ',';%Limitador para os dados do osciloscopio
scope_data= dlmread(filename, deliminator, 20,0);%Acessando os dados do
osciloscopio a partir da posição 20 da tabela
```

```
colunax= scope_data(:,4);%Acessa a primeira coluna x (coluna do tempo) dos
dados
```

```
colunay= scope_data(:,5);%Acessa a segunda coluna y (coluna da amplitude)
dos dados
```

```
na= size(colunax,1);%Numero de amostras da coluna
```

```
namostras= na(1)+20;%Compensação pela diferença onde inicializa a contagem
dos pontos
```

```
nosc=10; %Numero de divisoes do osciloscopio
```

```
tttotal= nosc*tosc;%tempo total de observacao do sinal
```

```
T= (1/freq);%inverso da frequencia
```

```
periodo= ((namostras.*T)/tttotal);%numero de amostras por periodo
```

```
ciclo= colunay(1:floor(periodo));%vetor com o tamanho do periodo para
encontrar o maximo valor de amplitude
```

```
n=1;
```

```
while ciclo(n)~= 0
```

```
    n=n+1;
```

```
end
```

```
m=n+100;
```

```
while ciclo(m)~= 0
```

```
    m=m-1;
```

```
end
```

```
pontoVR=((m-n)/2)+n;
```

```
[VRymin, posiVRymin]= min(ciclo);%Calculo do valor minimo e sua respectiva
posicao dentro do vetor ciclo
```

```
VRxmin=colunax(posiVRymin);%Acessa o valor do tempo em que ocorre VRmin
```

```
[VRymax, posiVRymax]= max(ciclo);%Calculo do valor maximo e sua respectiva
posicao dentro do vetor ciclo
```

```

VRxmax=colunax(posiVRymax);%Acessa o valor do tempo em que ocorre VRmax
%tVRzero=(abs(VRxmin)+abs(VRxmax))/2;%Ponto onde VR é zero
tVRzero= colunax(round(pontoVR));
corrente=VRymax/47;%Calculo da corrente com o valor de pico e a resistencia
de 47ohms
VRymax;

```

## #Aba parametros 2

```
%CALCULO DOS PARAMETROS2 DE AMPLITUDE DE VE
```

```

delimiter = ',';%Limitador para os dados do osciloscopio
scope_data= dlmread(filename, delimiter, 20,0);%Acessando os dados do
osciloscopio a partir da posição 20 da tabela

```

```

colunax1= scope_data(:,4);%Acessa a primeira coluna x (coluna do tempo) dos
dados
colunay1= scope_data(:,5);%Acessa a segunda coluna y (coluna da amplitude)
dos dados

```

```

na= size(colunax1,1);%Numero de amostras da coluna
namostras= na(1)+20;
nosc=10;%Numero de divisoes do osciloscopio
ttotal= nosc*tosc;%tempo total de observacao do sinal
T= (1/freq);%inverso da frequencia
periodo= ((namostras.*T)/ttotal);%numero de amostras por periodo
ciclo= colunay1(1:floor(periodo));%vetor com o tamanho do periodo para
encontrar o maximo valor de amplitude

```

```

n=1;
while ciclo(n)~= 0
    n=n+1;
end

```

```

m=n+100;
while ciclo(m)~= 0
    m=m-1;
end

```

```
pontoVE=((m-n)/2)+n;
```

```

[VEymax, posiVEymax]= max(ciclo);%Calculo do valor maximo e sua respectiva
posicao dentro do vetor ciclo
VExmax=colunax1(posiVEymax);%Acessa o valor do tempo em que ocorre VRmax
[VEymin, posiVEymin]= min(ciclo);%Calculo do valor minimo e sua respectiva
posicao dentro do vetor ciclo
VExmin=colunax1(posiVEymin);%Acessa o valor do tempo em que ocorre VRmin
tVEzero= colunax(round(pontoVE));
%tVEzero=(abs(VExmin)+abs(VExmax))/2;
%amVR=( (abs(VRmax)-abs(VRmin))/2)
VEymax;

```