

# Manual de Uso SISTEMAS DE ATERRAMENTO

LAMOTRIZ

3 de março de 2015

Objetivo: Apresentação dos aspectos gerais de funcionamento, manual de uso, exemplos e especificações técnicas. <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>Versão do Manual 1.0

# **Sumário**

<b>1 Descrição</b>	<b>6</b>
<b>2 Conexões e Alimentação</b>	<b>7</b>
2.1 Ligação da Haste Auxiliar e Malha de Terra . . . . .	7
2.2 Alimentação . . . . .	8
<b>3 Instalação do Software</b>	<b>9</b>
3.1 Passo a Passo da Instalação . . . . .	10
<b>4 Apresentação do Software</b>	<b>11</b>
4.1 Entrada . . . . .	12
4.2 Ações . . . . .	13
4.3 Resultados . . . . .	13
4.4 Terminal . . . . .	14
<b>5 Exemplo, Identificando um Malha de Terra</b>	<b>14</b>
5.1 Ligando a Fonte . . . . .	14
5.2 Preparando o Software . . . . .	15
5.3 Identificação e Resultados . . . . .	16
<b>6 Princípio de Funcionamento</b>	<b>17</b>
6.1 Excitação . . . . .	17

6.2	Aquisição . . . . .	18
6.3	Extração das Características . . . . .	20
6.4	Reconhecimento dos Padrões . . . . .	20
<b>7</b>	<b>Especificações Técnicas</b>	<b>21</b>

## **Lista de Figuras**

1	Itens principais do sistema. (1) - Fonte de Impulso, (2) - Computador . . . . .	6
2	Vista do painel frontal, identificação dos conectores. . . . .	7
3	Conexão gerador com a malha. . . . .	8
4	Vista traseira da fonte. . . . .	8
5	Esquema de ligação da alimentação. . . . .	9
6	Iniciando a instalação. . . . .	10
7	Selecionando os componentes necessários. . . . .	11
8	Confirmando a desinstalação do <i>PyQT</i> básico para a instalação do completo. . . . .	11
9	Tela Inicial do Aterramento 1.0. . . . .	12
10	Terminal útil para debug. . . . .	14
11	Exemplo de Ligação . . . . .	15
12	Dados de Entrada. . . . .	15
13	Iniciando o Ensaio. . . . .	16
14	Exemplo de Resultado. . . . .	16
15	Plot do Transiente. . . . .	16
16	Princípio de Funcionamento do Sistema. . . . .	18
17	Sinal típico da resposta. . . . .	19
18	Sinal ampliado no pico de tensão da resposta. . . . .	19

19	Idealização da aquisição. . . . .	20
----	-----------------------------------	----

## 1 Descrição

O equipamento é capaz de analisar o número de hastes (eletrodos de aterramento) para a topologia de aterramento de hastes em linha reta (paralelo), por exemplo, 3 hastes em paralelo. Para isto utiliza medições antigas para o processo de treinamento e classificação. Este equipamento não é adequado para medição de resistência de aterramento, resistividade do terreno ou detectar correntes parasitas presentes no solo, para isto utilize um terrômetro.

O equipamento é apresentado na Figura 1. Sendo composto pelos seguintes itens:

1. Gerador/Fonte de impulso de alta tensão.
2. Computador.

Figura 1: Itens principais do sistema. (1) - Fonte de Impulso, (2) - Computador



O equipamento opera com nível de tensão elevado, portanto, cuidado no manuseio do mesmo e durante o processo de identificação. Que demora em média de 1 a 5 minutos, dependendo do número de amostras desejadas.

Cuidado com o manuseio do computador levado em campo, especialmente no disco rígido. Nele contém os dados das amostras feitas que futuramente são utilizadas para as melhorias no software de identificação.

## 2 Conexões e Alimentação

A Figura 2 apresenta a vista frontal da Gerador de Impulso de Alta Tensão. Mostrando os seguintes itens,

1. Borne Vermelho, deve-se conectar o cabo que está fixado no ponto de inspeção do sistema de aterramento a ser identificado.
2. Borne Verde, não utilizado.
3. Borne Preto, não utilizado

Os demais itens vistos e, não comentados, são para uso exclusivo no desenvolvimento do equipamento. Não devem ser utilizados para os fins do usuário.

**OBS: A chave ON/OFF deve estar sempre na posição ON.** A posição *OFF* deve ser evitada, podendo tornar os resultados não confiáveis. Exclusiva para o desenvolvimento em laboratório.

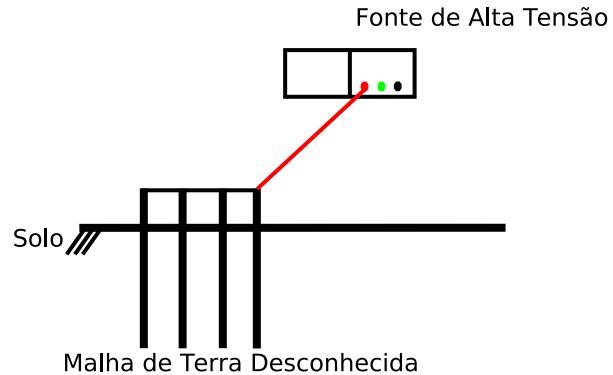
Figura 2: Vista do painel frontal, identificação dos conectores.



### 2.1 Ligação da Haste Auxiliar e Malha de Terra

A Figura 3 exemplifica como deve ser feito a ligação das hastes ao Gerador de Impulso.

Figura 3: Conexão gerador com a malha.



## 2.2 Alimentação

Para que a fonte opere corretamente, é necessário que a fonte de alimentação forneça uma tensão de 220 Volts. Também é necessário a correta identificação dos pinos de Fase e Neutro da instalação. **Omissão desta necessidade pode provocar de erros na leitura a danos aos componentes internos da fonte de impulso.**

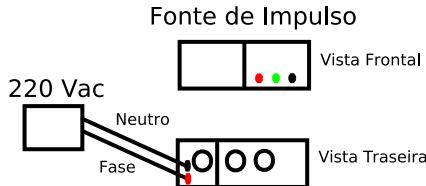
Figura 4: Vista traseira da fonte.



A Figura 4 mostra a chave principal de ligar ou desligar o gerador de impulso, ao seu lado o conector fêmea para entrada da alimentação de 220V. Bem como a localização do Neutro e Fase do equipamento.

A exemplificação do esquema de ligação da alimentação é vista na Figura 5. Contendo duas vistas, vista frontal da fonte e vista traseira. Bem como, a localização do neutro e fase da instalação e fonte de impulso.

Figura 5: Esquema de ligação da alimentação.



### 3 Instalação do Software

Para que o software de aterramento funcione corretamente, são necessários os seguintes softwares na máquina a ser utilizada nos ensaios:

1. Windows8
2. Python 2.7
3. PyQt 4
4. PyVisa
5. Matplotlib
6. Numpy
7. Scipy

É disponibilizado para tanto, um instalador para todos estes software. Presente na mídia física junto ao equipamento.

**Observação:** É necessário uma conexão com a internet para a correta instalação das dependências, em especial do *pyvisa*<sup>2</sup>.

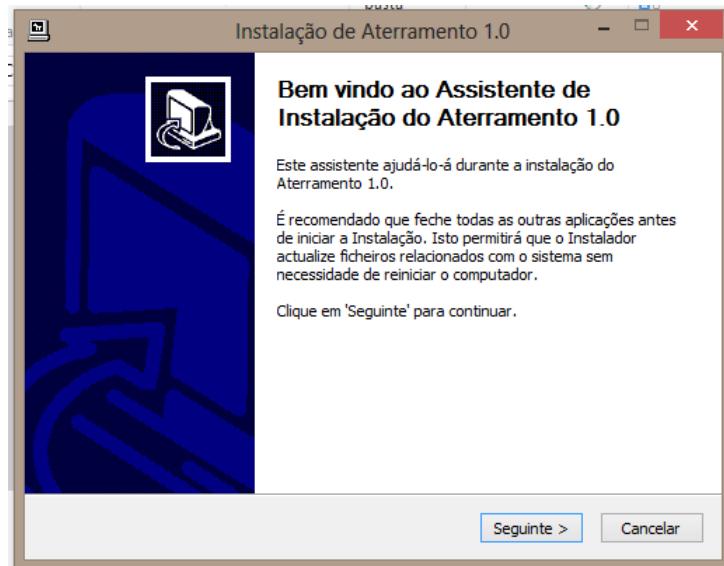
---

<sup>2</sup>Controle de Instrumentos com Python. Mais informações em <http://pyvisa.readthedocs.org/en/master>

### 3.1 Passo a Passo da Instalação

O instalador para todos os softwares necessários é disponibilizado em um único binário. Bastando apenas para o usuário guiar a instalação. A Figura 6 apresenta visão inicial para os passos seguintes.

Figura 6: Iniciando a instalação.



Uma vez executado o instalador, na segunda tela, é possível selecionar o componentes que serão instalados, caso já não foram. São os principais *Anaconda*, *PyQT* e o software alvo do projeto de pesquisa. O *Anaconda* contém as principais ferramentas para se trabalhar com o *Python*, processamento de imagens e cálculo numérico. O *PyQT* é o *GUI*<sup>3</sup> utilizado para a construção da interface entre o usuário e por fim o software para analisar e identificar uma topologia de aterramento. Passo este apresentado na Figura 7.

É recomendado a instalação de todos os componentes presentes no instalador, como é visto na Figura 7.

Uma vez confirmado os componentes necessário, o processo, propriamente dito, de instalação é iniciado. Em um determinado momento da instalação aparecerão na tela, outros dois instaladores. São eles do *Anaconda* e *PyQt*, este devem ser guiados também pelo usuário.

No momento da instalação do *PyQT* aparece uma mensagem, Figura 8, informando que já existe uma instalação na pasta do *Anaconda*, no entanto esta é a

---

<sup>3</sup>Interface Gráfica

Figura 7: Selecionando os componentes necessários.

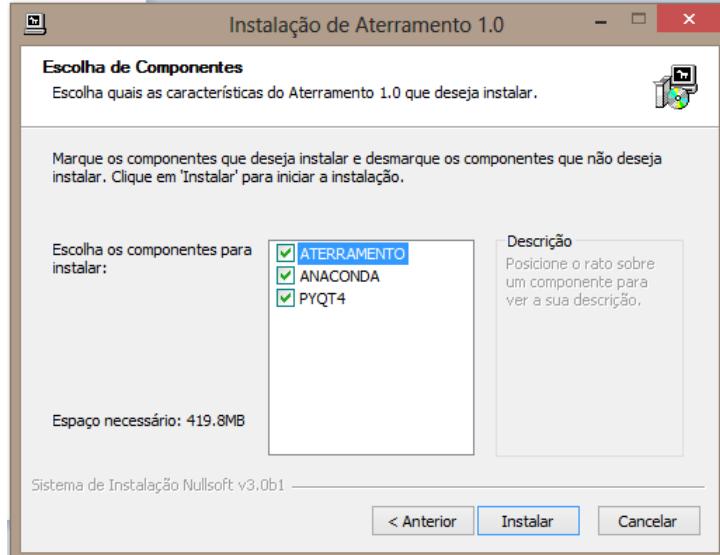
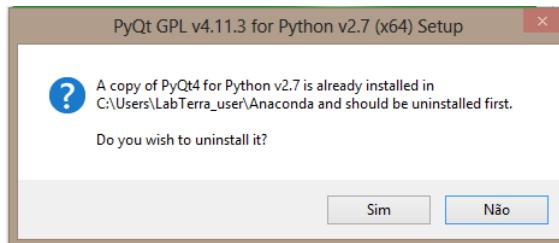


Figura 8: Confirmando a desinstalação do *PyQT* básico para a instalação do completo.



instalação básica do *PyQT*. Confirme a desinstalação do componente e continue a instalação completa do *PyQT*.

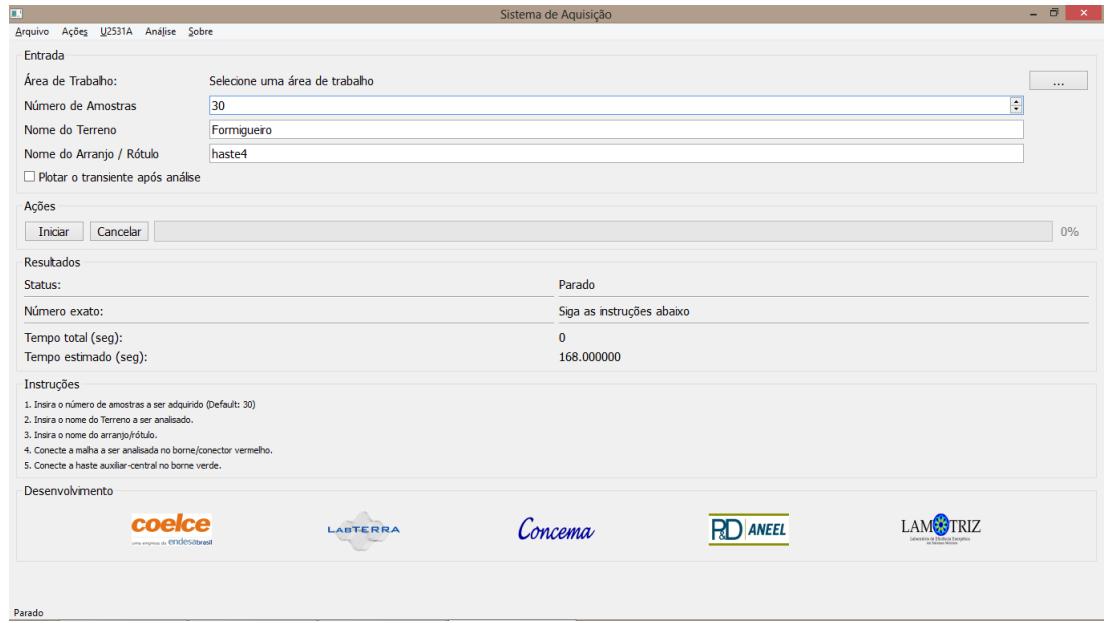
No final é criado um atalho chamado “aterramento” na área de trabalho.

## 4 Apresentação do Software

A Figura 9 apresenta a tela inicial em modo tela cheia do *software* Aterramento 1.0. Com este *software* é possível interagir totalmente com a fonte de impulso, sistema de aquisição de tensão e corrente bem como analisar as amostrar e obter

os resultados e plotagem de gráficos armazenados na memória.

Figura 9: Tela Inicial do Aterramento 1.0.



A interface é dividida em partes. As principais são:

- Entradas.
- Ações.
- Resultados.

Outras partes são referente a como deve ser feito a ligação dos fios e apresentação dos apoiadores e executores do projeto.

#### 4.1 Entrada

Antes de iniciar o processo de análise, são necessárias algumas configurações iniciais. O primeiro passo é definir onde serão salvos os dados das amostras, isto é feito selecionando uma “área de trabalho”. Clicando no “botão” a lado da referência “área de trabalho”. Ao fazer isto abre-se uma janela para selecionar uma pasta que servirá para tal propósito.

O número de amostra garante a confiabilidade na análise, em compensação, aumenta o tempo necessário para aquisição dos dados de tensão e corrente. O valor 30, é recomendado e foi definido como padrão. O tempo estimado para a coleta de uma única amostra, é de aproximadamente 5,6 segundos. Portanto para uma coleta de 30 amostra é necessário aproximadamente 2,8 minutos. Podendo variar de acordo com as especificações do computador utilizado.

O armazenamento das amostra é feito utilizando a data atual, o nome do terreno e o arranjo esperado para o mesmo. Valores estes que podem ser definidos ainda na “Entrada”, podendo serem alterados a qualquer momento.

Em campo é bastante útil a visualização da onda reconhecida pelo sistema de aquisição, portanto para que seja possível visualizá-la após o processo de análise. Marca-se a opção “Plotar o transiente após análise”.

## 4.2 Ações

A segunda parte “Ações”, é responsável por dar início ao processo de identificação de uma topologia de aterramento. Esse processo consiste em acionar a fonte de impulso “n” vezes e capturar os sinais de tensão e corrente. Após isto estes valores são salvos na memória, para então serem classificados pelo software.

**IMPORTANTE:** Este equipamento opera com níveis de tensão elevados, portanto ao clicar em “Iniciar” garanta que ninguém esteja perto das hastes ou da malha alvo da identificação. Não toque nos cabos e conectores da fonte.

Uma vez iniciado o processo uma barra mostrará o progresso. Caso seja necessário é possível cancelar, clicando no botão “Cancelar”, sendo assim é pedido um tempo menor que 5 segundos para o cancelamento por completo.

## 4.3 Resultados

Ao fim do processo de coleta de amostra e análise, é apresentado para o usuário o resultado. Na campo “Número exato” é possível visualizar a topologia identificada. Com uma taxa de acerto de aproximadamente 92%.

Apresenta-se também o tempo real que foi necessário para todo o ensaio. Tempo este que pode variar de configurações do computador ao número de amostras escolhidas.

## 4.4 Terminal

Uma ferramento bastante útil, é o terminal que carregado na inicialização do software.

Figura 10: Terminal útil para debug.



Não sendo fundamental para o usuário final. Mensagens informando erros ou avisos foram colocadas no decorrer do programa, tornando o terminal uma ferramenta bastante útil, quando algo não estiver funcionando como deveria.

## 5 Exemplo, Identificando um Malha de Terra

O Exemplo aqui abortado é referente a identificação de uma topologia de aterramento desconhecida até então, ficando apenas no entendimento do processo necessário de ligação ao acionamento do software.

Todo o processo de identificação esta sujeito a erros portanto deve ser feito uma interpretação do resultado quando apresentado.

### 5.1 Ligando a Fonte

Antes de ligar a fonte de alta tensão a rede elétrica, certifique-se,

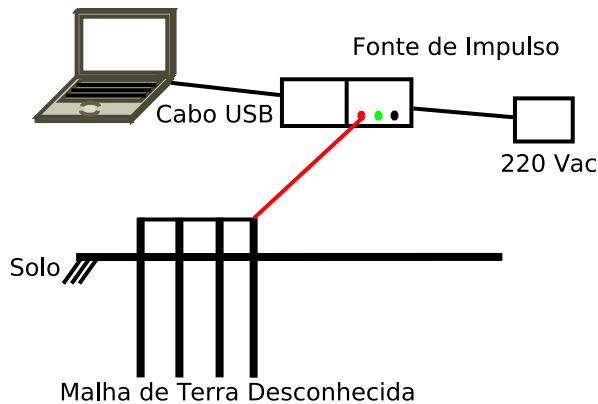
1. Identifique corretamente a Fase e Neutro na linha de alimentação da fonte.
2. O cabo USB deve estar devidamente conectado a uma porta livre do computador.
3. Software responsável pela identificação está devidamente inicializado e aguardando os comandos do usuário.

#### 4. A ligação com a malha de terra.

*A omissão do passo 1 mostrado acima, pode ocasionar de erros na leitura a danos aos componentes internos da fonte de alta tensão.*

Na Figura 11 é possível visualizar todas as ligações necessárias.

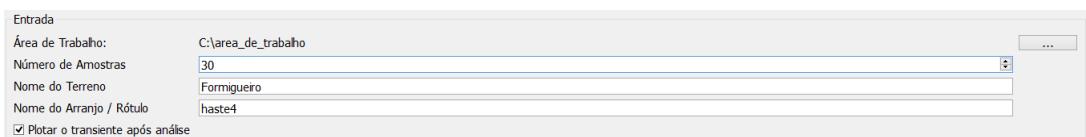
Figura 11: Exemplo de Ligação



## 5.2 Preparando o Software

Para que o *Software* funcione corretamente é necessário selecionar uma área de trabalho e se necessário a quantidade de amostras as serem feitas. Para melhorar na identificação posterior de ensaios feitos é importante nomear o terreno que foi feito o ensaio, bem como um rótulo para a malha de terra a ser estudada. Como mostra a Figura 12 .

Figura 12: Dados de Entrada.

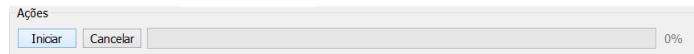


Se caso necessário, em uma situação que o resultado pode não ser confiável, é possível visualizar o gráfico da tensão e corrente das amostras. Para isto é necessário confirmar a caixa “Plotar o transiente após análise”.

### 5.3 Identificação e Resultados

Inicie o ensaio clicando em “INICIAR”, visto na Figura 13.

Figura 13: Iniciando o Ensaio.



Depois de aproximadamente 3 minutos um resultado deve ser apresentando, um exemplo pode ser visto na Figura 14.

Figura 14: Exemplo de Resultado.

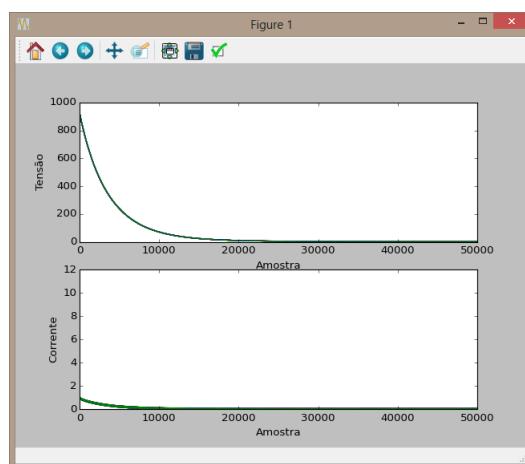


É possível plotar o gráfico, em outro momento, navegando até a opção:

Análise → Plotar Gráfico → Plot V I transiente.

Contida na barra de tarefas, localizada na parte superior da janela principal.

Figura 15: Plot do Transiente.



## 6 Princípio de Funcionamento

Um dos principais objetivos na construção de uma malha de terra é a proteção da vida humana. Serve também para que os equipamentos de proteção, por exemplo, de uma subestação funcionem corretamente como o pará-raio. Portanto a malha de terra é um item fundamental e demanda cuidados do projeto, construção a utilização.

Entretanto devido a falhas na execução do projeto, é possível que a quantidade de hastes não sejam colocadas em sua totalidade. Trazendo riscos para o funcionamento do sistema, e levando a possíveis prejuízos fiscais para a empresa contratante. Em outros casos é possível que exista uma falha na conexão elétrica em algum ponto da malha.

Este equipamento inovador é portanto uma solução a identificação de uma topologia de aterramento já construída é que necessita de uma verificação se foi corretamente executada ou se não existem falhas elétricas.

Para o estudo de uma malha de terra quando submetida a uma descarga atmosférica é possível encontrar na literatura, modelos de circuitos elétricos, modelos eletromagnéticos, linhas de transmissão entre outros. Em todos é possível notar que os parâmetros mais majoritários são: solo e características das hastes. Parâmetros estes que determinam, resposta da malha de terra. Portanto o objetivo deste equipamento é diferenciar as possíveis topologias de malha de terra.

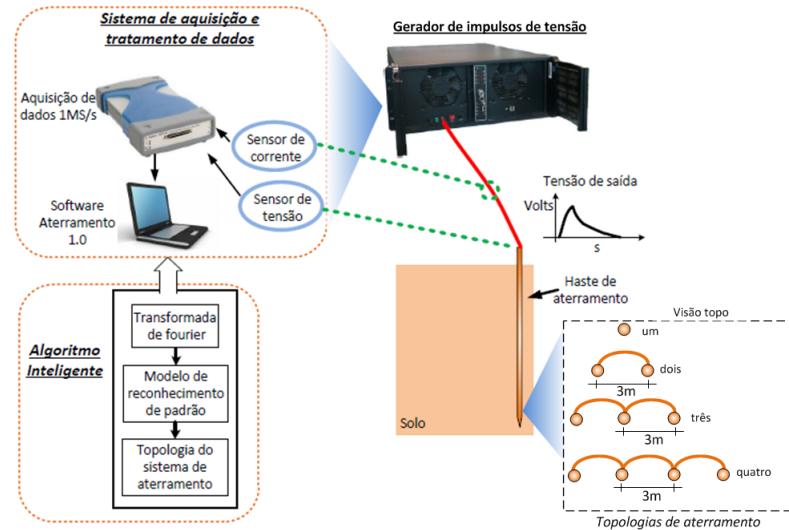
Utilizando para isto uma Máquina de Aprendizado para o reconhecimento de padrões, partindo de uma situação já conhecidas. O sistema é dividido em quatro partes,

- Excitação.
- Aquisição.
- Extração das Características.
- Reconhecimento dos Padrões.

### 6.1 Excitação

Para que o reconhecimento seja feito é necessário aplicar um determinado pulso de tensão na topologia de aterramento, até então desconhecido. Sendo esta função de responsabilidade do Gerador de Impulso de Tensão. Sendo apresentado na Figura 16 e anteriormente na Figura 1.

Figura 16: Princípio de Funcionamento do Sistema.



Sabe-se, quando a malha é submetida a frequência de 60 Hz os efeitos indutivos e capacitivos da mesma são desprezíveis. Entrando ao aplicar um pulso de alta tensão com uma constante de tempo pequena, constante que irá depender diretamente das malha de terra. É possível extrair informações úteis.

A fonte de impulso é portanto o elemento que irá extrair a impedância característica de cada malha, com a leitura de corrente e tensão. Para isto é aplicado um pulso de tensão na malha, de aproximadamente 1000 Volts.

A resposta é vista na figura 17.

## 6.2 Aquisição

O processo de aquisição começa quando o pulso é disparado na topologia de aterramento. Mensurando e armazenando toda a leitura de tensão e corrente simultaneamente, a um velocidade de 2MSa/s com resolução de 14 bits. Tal velocidade garante a maior número de pontos adquiridos, aumentando assim a eficácia do resultado.

Ampliando o sinal armazenado é possível notar, em uma configuração exemplo, com 30 amostras. A resposta para aquela topologia, sendo o inicio desta resposta a mais importante. Isto acontece em aproximadamente 125 us em média. Como pode ser visto na Figura 18.

Figura 17: Sinal típico da resposta.

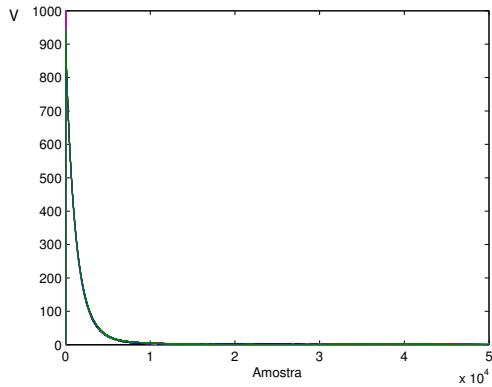
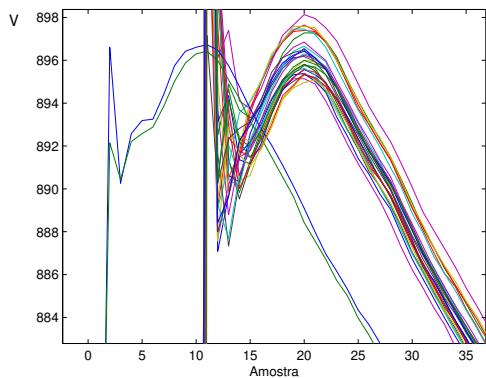


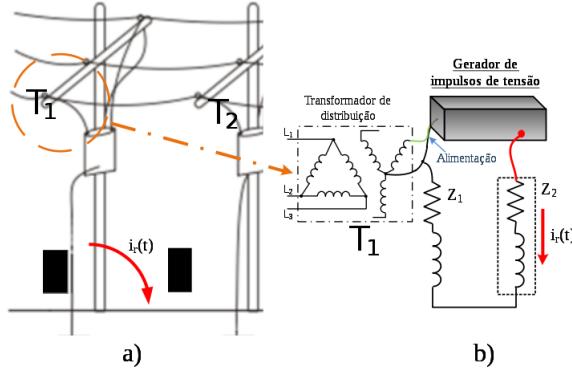
Figura 18: Sinal ampliado no pico de tensão da resposta.



O processo de aquisição consiste em adquirir tensão e corrente, tensão que é aplicada na malha de aterramento e corrente que flui pela mesma. Este processo é visto na Figura 19. Onde utiliza-se o aterramento do lado de baixa tensão do transformador, como ponto de retorno de corrente e extremidade para sensor de tensão. Por isto é essencial a correta ligação do fase e neutro da fonte de impulso visto do capítulo 2.2 e Figura 5.

**OBS:** Portanto fica claro, é necessário que o lado de baixa tensão do transformador deve ser estrela aterrado. Se esta condição não for satisfeita o processo de identificação de uma topologia de aterramento não funcionará.

Figura 19: Idealização da aquisição.



### 6.3 Extração das Características

Busca-se das formas de onda de tensão e corrente características típicas para cada topologia, aplicando FFT(*Fast Fourier Transform*) a impedância no domínio do tempo( $t$ ) resultante  $z_n = v_n(t)/i_n(t)$  para cada amostra ( $n$ ). Obtendo assim os harmônicos do sinal. Também é levado em consideração o decaimento total da onda.

Com esta abordagem é possível encontrar padrões para cada topologia de aterramento, independente do solo e condições climáticas.

### 6.4 Reconhecimento dos Padrões

Durante o processo de desenvolvimento do projeto sistemas de aterramentos, três modelos foram utilizados para a classificação. São eles, AdaBoost (impulso ou estímulo adaptativo), Support Vector Machine (máquina de vetor de suporte) e Random Forest (árvores randomizadas). Este três algoritmos deram respostas diferentes para os modelos em treinamento.

AR	Saída do Modelo Proposto				
		1 haste	2 hastas	3 hastas	4 hastas
Topologia Real	1 haste	80,8 %	19,2 %	0 %	0 %
	2 hastas	23,0 %	69,2 %	7,7 %	0 %
	3 hastas	7,7 %	0 %	65,4 %	26,9 %
	4 hastas	3,8 %	3,8 %	23,0 %	69,2 %

## 7 Especificações Técnicas

Aplicação	Analisar e identificar um topologia desconhecida de aterramento. Fornecendo a disposição/topologia das hastes em um aterramento até então desconhecido.
Método de identificação	É injetado no solo uma tensão elétrica, mede-se o sinal de tensão e corrente resultante. Com isto analisa-se por meio de algorítimos inteligentes qual a topologia.
Precisão	Aproximadamente 90%.
Alimentação	Rede de 220V 60Hz, linha monofásica sem terra.
Porta de Comunicação	USB
Peso	30 Kg, sem a presença do computador.
Temperatura de Operação	20°C a 50°C