

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS DE CURITIBA  
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA – ELETROTÉCNICA

GESIEL SOARES  
ISABELLA VILLAIN DE LIMA BRAGA

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE DETECÇÃO DE CONTINUIDADE  
ELÉTRICA EM CABOS DE BAIXA TENSÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2014

GESIEL SOARES  
ISABELLA VILLAIN DE LIMA BRAGA

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE DETECÇÃO DE CONTINUIDADE  
ELÉTRICA EM CABOS DE BAIXA TENSÃO

Trabalho de conclusão de Curso de Graduação do curso de Engenharia Industrial Elétrica – Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiros Eletricistas.

Orientador: Prof. Antonio Carlos Pinho - Dr.

CURITIBA

2014

Isabella Villain de Lima Braga  
Gesiel Soares

## Desenvolvimento de um sistema de detecção de continuidade elétrica em cabos de baixa tensão

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Industrial Elétrica - Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 04 de setembro de 2014.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Industrial Elétrica - Eletrotécnica

---

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### ORIENTAÇÃO

---

Antonio Carlos Pinho, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### BANCA EXAMINADORA

---

Marcelo de Oliveira Rosa, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Alceu André Badin, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Antonio Carlos Pinho, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## **Agradecimentos**

Agradecemos a Deus por nos dar a vida e capacidade para executar este trabalho. Também a nossa família e amigos que tiveram paciência e compreensão nos dias em que nos dedicamos a este trabalho. Agradecemos a Ana Villain que nos auxiliou durante a realização dos testes em laboratório.

Agradecemos aos professores que participaram de alguma forma da execução deste trabalho. Professor Roger Gules que nos auxiliou na configuração do osciloscópio e nos deu toda a atenção no laboratório durante as medições, ao professor Alceu Badin por nos indicar o osciloscópio digital alimentado por bateria e esclarecer algumas dúvidas sobre seu funcionamento, aos professores de ambas as bancas por nos darem parte de seu tempo analisando, corrigindo e comentando nosso trabalho contribuindo muito para sua melhoria. Agradecemos principalmente nosso orientador, professor Antonio Carlos Pinho, por todo o seu incentivo e orientação sem falar em seu otimismo sempre contagiante.

“Mas, a respeito de qualquer outra coisa, meu amigo, vá com calma. Não há limite para se produzir livros, e estudar demais deixa qualquer um esgotado. Para finalizar, a conclusão de tudo é a seguinte: Tema a Deus E faça tudo que ele mandar.” Ec 12:12-13 (BÍBLIA A Mensagem).

## RESUMO

BRAGA, Isabella Villain de Lima; SOARES, Gesiel. **Desenvolvimento de um Sistema de Detecção de Continuidade Elétrica em Cabos de Baixa Tensão.** 2014. 107f. Trabalho de Conclusão de Curso– Engenharia Industrial Elétrica com Ênfase em Eletrotécnica, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

Este trabalho versa sobre o desenvolvimento de um equipamento de medição na área de baixa tensão, o qual tem função de constatar a continuidade elétrica em condutores. Em comparação com os sistemas já existentes para este tipo de medição, possui como inovação o fato de não possuir referência elétrica física. O sistema consiste em dois circuitos alimentados por baterias, onde: um gera uma onda quadrada fornecendo uma variação de potencial e o outro amplifica sinais de baixa amplitude percebendo a variação deste potencial, porém ambos são independentes eletricamente. Por independência elétrica pode-se entender que a referência, também chamado terra ou menos da bateria, de um circuito não está conectada a do outro.

**Palavras-chave:** Medidas elétricas, continuidade elétrica e referência eletromagnética.

## ABSTRACT

BRAGA, Isabella Villain de Lima; SOARES, Gesiel. **Development of a Detection System Electrical Continuity in Low Voltage Cables.** 2014. 107f. Trabalho de Conclusão de Curso– Engenharia Industrial Elétrica com Ênfase em Eletrotécnica, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

This work deals with the development of a measurement device in area of low voltage, which serves to verify the electrical continuity in conductors. In comparison with existing systems for this type of measurement it has innovation in the fact of not having electric physical reference systems. The system consists on two circuits powered by batteries, wherein: one of these supply a square wave generates a variation of potential and the other amplifies low amplitude sensing the change of this potential, but both are electrically independent. For electrical independence can be understood that the reference, also called ground or battery negative, of a circuit is not connected to another.

**Keywords:** Electrical measurements, electrical continuity and electromagnetic reference.

## Lista de Siglas

LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
CI	Circuito Integrado
TBJ	Transistor Bipolar de Junção
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect</i>
FET	<i>Field-Effect Transistor</i>
CC	Corrente Contínua



## Lista de Símbolos

I	Corrente
I <sub>c</sub>	Corrente no capacitor
V <sub>CE</sub>	Tensão no transistor, coletor-emissor
V <sub>CC</sub>	Tensão de alimentação 5 V
I <sub>B</sub>	Corrente de base no transistor
R	Distância entre duas cargas elétricas
Q	Quantidade de carga elétrica
$\vec{D}$	Densidade de fluxo elétrico
$\epsilon$	Permissibilidade elétrica do meio onde se propaga o campo elétrico
$\vec{E}$	Campo elétrico
$\vec{B}$	Densidade de campo magnético
$\mu$	Permeabilidade magnética
$\vec{H}$	Campo magnético
$\Phi$	Fluxo Elétrico
dS	Diferencial de superfície
$\vec{u}$	Vetor unitário
$\vec{J}$	Densidade de corrente
dV	Diferencial de volume
$\rho, \rho_v$	Densidade volumétrica
$\int_v$	Integral volumétrica
$\oint_S$	Integral de uma superfície fechada
$\oint_L$	Integral de linha fechada
$d\vec{l}$	Diferencial de um elemento de linha
S, S1 e S2	Área de uma seção
e <sup>-</sup>	Carga elementar

$F$	Força elétrica entre partículas
$k$	Constante eletrostática
$Q1, Q2$	Carga elétrica
$\epsilon_0$	Constante de permissividade no vácuo
$c$	Linha fechada ao redor de um condutor
$grad V$	Gradiente do potencial elétrico
$I_d$	Corrente de deslocamento
$I_B$	Corrente de base do transistor
$I_C$	Corrente no coletor do transistor
$I_E$	Corrente no emissor do transistor
$C$	Capacitância
$\beta$	Ganho de corrente de emissor comum
$\alpha$	Ganho de corrente de base comum
$T$	Período
$f$	Frequência
$t1$	Período em nível alto
$t2$	Período em nível baixo
$Ra, Rb$	Resistência elétrica
$ln$	Logaritmo natural
$ms$	Milissegundo
$L$	Diferencial de cargas elétricas
$\epsilon_0$	Permissividade elétrica no vácuo
$cosh^{-1}$	Arco cosseno hiperbólico
$\Omega$	Resistência elétrica

## Lista de Figuras

Figura 1: Esboço de protótipo. ....	23
Figura 2: Representação do campo elétrico.....	25
Figura 3: Campo magnético criado pelo deslocamento de cargas elétricas .....	26
Figura 4: Corrente no condutor e seção S .....	27
Figura 5: Estrutura atômica .....	29
Figura 6: Força entre partículas .....	31
Figura 7: Eletrização por contato.....	32
Figura 8: Carregando uma esfera metálica por indução .....	33
Figura 9: Condutor sujeito a passagem de corrente elétrica I. Caminhos a, b e c. ...	34
Figura 10: Corrente de deslocamento .....	35
Figura 11: Capacitor .....	37
Figura 12: Comparação de tamanhos entre válvula e transistores. ....	39
Figura 13: Polarização do transistor pnp.....	40
Figura 14: Curvas características de um transistor configuração emissor comum....	42
Figura 15: Temporizador 555. ....	43
Figura 16: Circuito representativo do temporizador 555.....	44
Figura 17: Ciclo <i>flip flop</i> .....	45
Figura 18: Ondas do capacitor C e saída do 555.....	46
Figura 19: Desenho esquemático do projeto.....	47
Figura 20: Gráfico de Capacitância versus Frequência em um circuito com 555 na configuração monoastável.....	49
Figura 21: Simulação do Circuito Gerador. ....	50
Figura 22: Circuito Receptor.....	52
Figura 23: Circuito Receptor – Simulação.....	53
Figura 24: Detector de continuidade. – Simulação.....	55
Figura 25: Alguns componentes do circuito gerador. ....	57
Figura 26: Alguns componentes do circuito receptor. ....	58
Figura 27: Resultado da montagem - circuito gerador. ....	59
Figura 28: Resultado da montagem - circuito receptor.....	60
Figura 29: Medição de tensão na saída do gerador - com referência. ....	61
Figura 30: Medição de tensão na saída do gerador - sem referência. ....	63
Figura 31: Medição de tensão na entrada do receptor - com referência. ....	64

Figura 32: Medição de tensão no LED do receptor - com referência. ....	65
Figura 33: Medição de tensão na entrada do receptor - sem referência. ....	67
Figura 34: Medição de tensão no LED do receptor - sem referência. ....	68
Figura 35: Cabo de 10m enrolado. ....	69
Figura 36: Medição de tensão no LED do receptor e terra da bateria. ....	70
Figura 37: Medição de tensão no cabo de 10m esticado. ....	72
Figura 38: Situação A. ....	73
Figura 39: Medição de tensão no par de 1 metro – situação A. ....	74
Figura 40: Situação B. ....	75
Figura 41: Medição de tensão no par de 1 metro - situação B. ....	75
Figura 42: Situação C. ....	76
Figura 43: Medição de tensão no par de 1 metro - situação C. ....	77
Figura 44: Situação D. ....	78
Figura 45: Medição de tensão no par de 1 metro - situação D. ....	78
Figura 46: Circuito gerador conectado a extremidade de um dos cabos. ....	79
Figura 47: Medição de tensão no par de 5 metros - situação E. ....	81
Figura 48: Medição de tensão no par de 5 metros - situação F. ....	82
Figura 49: Situação G. ....	83
Figura 50: Medição de tensão no par de 5 metros - situação G. ....	83
Figura 51: Situação H. ....	84
Figura 52: Medição de tensão no par de 5 metros - situação H. ....	84
Figura 53: Situação I. ....	85
Figura 54: Medição de tensão no par de 5 metros - situação I. ....	86
Figura 55: Situação J. ....	87
Figura 56: Medição de tensão no par de 5 metros - situação J. ....	87
Figura 57: Circuito gerador conectado ao condutor branco do cabo tetrapolar de 2 metros. ....	89
Figura 58: Situação K. ....	89
Figura 59: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 2 metros - situação K. ....	90
Figura 60: Situação L. ....	90
Figura 61: Situação M. ....	91
Figura 62: Situação N. ....	92

Figura 63: Circuito gerador conectado ao condutor branco do cabo tetrapolar de 5 metros. ....	93
Figura 64: Situação O. ....	94
Figura 65: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 5 metros - situação O. ....	94
Figura 66: Situação P. ....	95
Figura 67: Situação Q. ....	96
Figura 68: Situação R. ....	96
Figura 69: Comparação entre cabo certo e cabo errado. (a) situação A. (b) situação B. (c) situação G. (d) situação H. ....	98
Figura 70: Comparação entre os sinais emitidos pelo gerador. (a) sem referência. (b) com referência. ....	99

## Lista de Gráficos

Gráfico 1: Saída do circuito gerador – com referência. ....	62
Gráfico 2: Saída do gerador - sem referência. ....	63
Gráfico 3: Medição de tensão na entrada do receptor - com referência.....	65
Gráfico 4: Tensão no LED do receptor - com referência. ....	66
Gráfico 5: Entrada do receptor - sem referência. ....	67
Gráfico 6: Tensão no LED do receptor - sem referência. ....	68
Gráfico 7: Tensão entre LED do receptor e terra da bateria - cabo de 10m enrolado, constatação da assimetria da onda. ....	71
Gráfico 8: Tensão entre LED do receptor e terra da bateria - cabo de 10m enrolado. ....	71
Gráfico 9: Tensão entre o LED do receptor e terra da bateria - cabo de 10m esticado. ....	72
Gráfico 10: Medição de tensão nos cabos de 1 metro paralelos - situação A. ....	74
Gráfico 11: Medição de tensão nos cabos de 1 metro paralelos - situação B. ....	76
Gráfico 12: Medição de tensão nos cabos de 1 metro trançados - situação C.....	77
Gráfico 13: Medição de tensão nos cabos de 1 metro trançados- situação D.....	78
Gráfico 14: Medição de tensão nos cabos de 5 metros paralelos e enrolados - situação E.....	81
Gráfico 15: Medição de tensão nos cabos de 5 metros paralelos enrolados - situação F. ....	82
Gráfico 16: Medição de tensão nos cabos de 5 metros paralelos esticados - situação G. ....	83
Gráfico 17: Medição de tensão nos cabos de 5 metros paralelos esticados - situação H.....	85
Gráfico 18: Medição de tensão nos cabos de 5 metros trançados - situação I. ....	86
Gráfico 19: Medição de tensão nos cabos de 5 metros trançados - situação J.....	87
Gráfico 20: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 2 metros - situação K. ....	90
Gráfico 21: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 2 metros - situação L. ....	91
Gráfico 22: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 2 metros - situação M. ....	91
Gráfico 23: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 2 metros - situação N.....	92
Gráfico 24: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 5 metros - situação O.....	95

Gráfico 25: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 5 metros - situação P. ....	95
Gráfico 26: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 5 metros - situação Q.....	96
Gráfico 27: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 5 metros - situação R.....	97
Gráfico 28: situação B - alusão a uma senóide. ....	100

## **Lista de Quadros**

Quadro 1: Modos de ligação x Características Principais. ....	42
Quadro 2: Metodologias adotadas para medição do par de cabos de 1 metro. ....	73
Quadro 3: Metodologias adotadas para medição do par de cabos de 5 metros. ....	80
Quadro 4: Metodologias adotadas para medição do cabo tetrapolar de 2 metros. ...	88
Quadro 5: Metodologias adotadas para medição do cabo tetrapolar de 5 metros. ...	93
Quadro 6: Relação final de testes e seus resultados. ....	102



## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	19
1.1 TEMA .....	19
1.1.1 Delimitação do Tema .....	20
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS .....	20
1.3 OBJETIVOS .....	21
1.3.1 Objetivo Geral .....	21
1.3.2 Objetivos Específicos .....	21
1.4 JUSTIFICATIVA .....	22
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	22
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	24
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	25
2.1 ELETROMAGNETISMO E AS EQUAÇÕES DE MAXWELL .....	25
2.1.1 Campo Elétrico .....	25
2.1.2 Campo Magnético .....	25
2.1.3 Densidade Superficial De Corrente .....	26
2.1.4 Densidade Volumétrica De Cargas .....	27
2.1.5 Equações De Maxwell .....	28
2.2 CARGAS ELÉTRICAS .....	29
2.2.1 Quantização Da Carga Elétrica .....	30
2.2.2 Forças Eletrostáticas .....	30
2.2.3 Cargas Induzidas .....	31
2.3. A CORRENTE DE DESLOCAMENTO .....	33
2.4. O EFEITO CAPACITIVO .....	36
2.4.1 Capacitância .....	36
2.5 TRANSISTORES .....	38
2.5.1 Transistores Bipolares De Junção .....	39
2.5.1.1 Transistor Operando Como Amplificador .....	41
2.6.1 555 Operando no modo astável .....	43
<b>3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO</b> .....	47
3.1 CIRCUITOS .....	47
3.1.1 Circuito Gerador .....	48

3.1.2 Circuito Receptor.....	52
3.1.3 Detector De Continuidade .....	54
3.2 CONCEITOS SOBRE A MONTAGEM .....	55
3.3 A LISTA DE COMPONENTES .....	56
3.3.1 Circuito Gerador .....	56
3.3.2 Circuito Receptor.....	57
3.4 ETAPAS DE MONTAGEM .....	58
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
4.1 PARÂMETROS DE FUNCIONAMENTO.....	61
4.1.1 Circuito Gerador .....	61
4.1.2 Circuito Receptor.....	64
4.2 TESTES REALIZADOS.....	69
4.2.1 Teste em cabo de 10 metros flexível - bitola 1,5mm <sup>2</sup> .....	69
4.2.2 Teste em dois cabos de 1 metro flexíveis - bitola 1,5mm <sup>2</sup> .....	73
4.2.3 Teste em dois cabos de 5 metros flexíveis – bitola 1,5mm <sup>2</sup> .....	79
4.2.4 Teste em cabo tetrapolar de 2 metros.....	88
4.2.5 Teste em cabo tetrapolar de 5 metros.....	92
4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	97
4.3.1 Limitações .....	100
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>102</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	103
REFERÊNCIAS.....	104

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 TEMA

A partir da descoberta da eletricidade e desenvolvimento dos conhecimentos a seu respeito, a criação de um sistema de geração, de um sistema de transmissão e ainda um sistema de distribuição de energia elétrica, fez-se desta um bem comum da sociedade, trazendo comodidade e eficiência ao dia-a-dia. A partir deste desenvolvimento tornaram-se extremamente necessárias as medições das grandezas relacionadas a esta energia: potência aparente, potência ativa, fator de potência, consumo, corrente, tensão, entre outras (CREDER, 1983 p.189). Entretanto, há uma característica de suma importância para que todo o sistema funcione adequadamente, sem a qual nada seria viável em termos de transmissão de energia, a saber, a continuidade elétrica (PORTELA, 2013).

A constatação da continuidade elétrica teoricamente se dá ao verificar que determinado caminho para a corrente possui resistência nula (CABLOFIL, 2011, p.14); porém na prática verifica-se que essa resistência não é exatamente zero ohm, mas sim uma pequena resistência, próxima de zero, e esta varia dependendo de diversos fatores, tais como: comprimento do condutor, diâmetro, temperatura, etc. (TUCCI e BRANDASSI, 1979, p.23). As medições de continuidade elétrica tem o mesmo embasamento das medições de resistência, e em sua maioria têm o seguinte princípio: impõe-se uma diferença de potencial entre as extremidades do que se quer medir – um condutor, por exemplo – e é feita uma verificação se há ou não a passagem de corrente por este condutor (U.S. NAVY, BUREAU OF NAVAL PERSONNEL, TRAINING PUBLICATIONS DIVISION, 1960, p.367).

De acordo com Harry Mileaf, “o ohmímetro é um instrumento que permite medir a resistência de um circuito ou de um componente. Além disso, o ohmímetro é útil na pesquisa de ligações abertas ou curtos-circuitos” (MILEAF, 1983, p. 109). A partir da descrição da finalidade do ohmímetro pode-se concluir que a continuidade é constatada por meio deste método. Seu funcionamento pode ser explicado de forma bem simples: por meio de um medidor de corrente tipo bobina móvel, uma fonte de baixa tensão - ambos CC - e resistores em série, o ohmímetro basicamente constata a passagem ou não de corrente por determinada resistência (MILEAF,

1983, p. 109). Impondo a tensão da fonte CC – uma bateria, por exemplo – verifica-se se há passagem de corrente por meio do medidor de corrente. Caso haja corrente passando, o ponteiro do medidor sofre deflexão devido à reação do campo magnético gerado pela corrente com o campo magnético do ímã presente no medidor de corrente (TURNER, 1969, p. 21).

Da mesma forma, a digitalização, tanto do ohmímetro quanto do amperímetro e até mesmo voltímetro, envolve o mesmo princípio básico do instrumento analógico original, porém por intermédio de um circuito eletrônico a impressão da leitura se dá por meio de um display que indica os valores medidos de forma discreta (HELFRICK, 1994, p 112).

### 1.1.1 Delimitação do Tema

Este trabalho aborda o estudo e o desenvolvimento de um sistema de medição de continuidade com pontas de prova isoladas para condutores de baixa tensão. Tal sistema será alimentado por baterias, sendo assim desnecessário à utilização tanto da rede elétrica, como fornecedor de energia, quanto de um referencial para circulação de corrente para este sistema.

Também é objeto deste trabalho o desenvolvimento de um protótipo baseado no sistema de medição desenvolvido, tal como a respectiva análise dos resultados.

## 1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

Quando se fala em medição de continuidade, que nada mais é que a constatação de que um condutor qualquer, por meio de si, mantém interligados eletricamente suas extremidades, sendo capaz de permitir a passagem de energia - dependendo da situação em que se quer medir essa continuidade elétrica, nota-se que muitas vezes a metodologia adotada para tal é muito limitada. Por exemplo, a utilização de um multímetro, que é um aparelho muito comum utilizado em medições gerais de baixa tensão. Supõe-se que se quer medir a continuidade de um dado condutor em uma edificação, e que as extremidades deste encontram-se uma em cada andar da instalação. Não raro, nas instalações prediais há eletrodutos nos

quais passam vários fios segundo a discriminação do projeto elétrico. Sabendo disso, e tendo em mãos apenas um multímetro como ferramenta, há duas possibilidades para medir a continuidade deste condutor: ou usam-se duas pontas de prova com pelo menos 20 metros cada, ou, faz-se um *jump* em um dos andares entre dois fios diferentes a fim de se medir a continuidade entre ambos no outro andar (ARAÚJO, pgs. 8 e 9). No entanto, nota-se que a flexibilidade desta metodologia de medição não é nada favorável, pois como se pode garantir que, no caso da segunda opção – curto-circuitar dois condutores em uma das extremidades – os dois condutores têm continuidade elétrica? No caso de não se detectar continuidade, em qual dos dois há descontinuidade?

A proposta desta pesquisa é desenvolver uma possibilidade de medição independente, com pontas de prova isoladas de referência de forma que haja flexibilidade na medição e que a constatação da continuidade elétrica seja algo fácil.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema identificador de continuidade elétrica com pontas de prova isoladas a fim de detectar a continuidade elétrica em condutores de baixa tensão.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar os conceitos teóricos que envolvem o desenvolvimento do sistema identificador.
- Definir quais os componentes necessários para a construção do equipamento de medição.
- Escolher o circuito oscilador que fará o papel de gerador de ondas. Seja ele desenvolvido a partir de microprocessadores, amplificadores operacionais, temporizadores, entre outros.
- Desenvolver um circuito gerador de sinais assim como um circuito receptor.

- Fazer testes em laboratório para a calibração - parâmetros de operação - adequada do equipamento.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

Uma das grandes dificuldades em uma instalação elétrica residencial é a identificação de cabos e circuitos. Apesar de existirem normas criadas – NBR 5410 - que facilitam a identificação destes cabos, tal como a diferenciação de cores dos condutores (fase, neutro e terra), muitas vezes as normas não são executadas na prática ou também pelo fato de serem instalações antigas e não haver elementos que possam facilitar a diferenciação destes cabos.

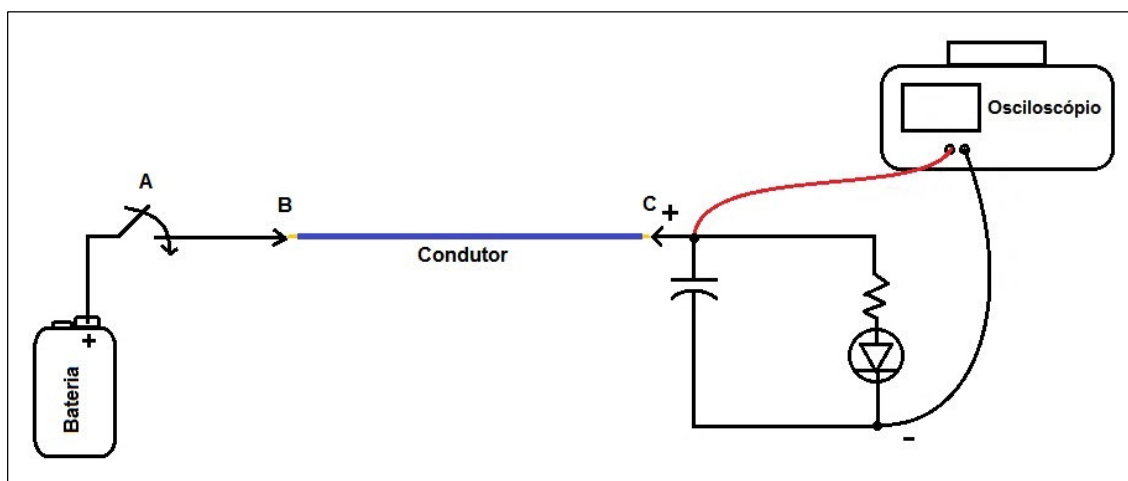
Com a finalidade de facilitar a identificação existem equipamentos que medem a continuidade. Contudo a maior parte destes limita-se a uma configuração baseada no conceito de circuito fechado (DAVID, 2000), onde o condutor ou condutores que estão sendo identificados fazem parte deste circuito fechado, para a circulação de corrente. Desta forma, se houver circulação de corrente, então há continuidade, caso contrário, não há continuidade.

Como consequência, notam-se inúmeras dificuldades e limitações no campo prático neste tipo de configuração, logo pesquisas que visem à obtenção de equipamentos que não se limitem ao conceito de circuito fechado podem ser de grande valia no âmbito de facilitar a identificação de cabos e circuitos em instalações elétricas residenciais.

#### 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Em posse da teoria citada na delimitação do tema, acerca do funcionamento do ohmímetro e de sua finalidade para constatação de continuidade elétrica, segue abaixo uma figura que esboça as primeiras ideias discutidas para o desenvolvimento de um protótipo.

A princípio, pretendia-se variar o campo elétrico imposto pelo terminal positivo da bateria por meio de uma chave manual. A variação deste campo seria percebida por um capacitor que carregaria o suficiente para acender o LED. Desta forma comprovando a continuidade no condutor.



**Figura 1: Esboço de protótipo.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

É importante frisar que em comparação às metodologias de medição já anteriormente citadas, a proposta deste trabalho é desenvolver um circuito eletricamente aberto, sem a mesma referência elétrica, que possui seu funcionamento baseado em princípios eletromagnéticos, ou seja, a referência do circuito não é física, mas eletromagnética.

Em termos gerais inicialmente será apresentada uma pesquisa teórica e prática a cerca de tópicos fundamentais para desenvolver o tema como, por exemplo: efeito capacitivo, circuitos geradores e circuitos receptores de sinais. A pesquisa prática consiste em testes feitos em laboratório com materiais já existentes, a fim de aplicar a teoria estudada e conhecer as limitações de sua respectiva prática. Após estudar esses assuntos e realizar os testes, a partir do conhecimento adquirido foram projetados dois circuitos. Um receptor e um gerador de sinais, a fim de substituir a chave “A” da figura 1, de acordo com a necessidade do sistema de medição. Em seguida esses circuitos foram analisados por meio de ensaios em laboratório, que tem por objetivo determinar o funcionamento ou não desse sistema, bem como, se houver funcionamento, quais são suas limitações, como: potência, em qual tipo de estrutura é apropriado o seu uso (bitola do condutor), qual o alcance em termos de distância, e também avaliadas possibilidades de melhorias de projeto.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será dividido em 5 capítulos, sendo o presente capítulo destinado a apresentação das finalidades, objetivos, problemas assim como os métodos para a solução dos mesmos.

Capítulo 2, onde é apresentada a fundamentação teórica com base no efeito capacitivo assim como também na bibliografia referente à emissão e recepção de sinais.

O Capítulo 3 é demonstrado o desenvolvimento e os processos de montagem do protótipo como também as formas de obtenção dos resultados.

No Capítulo 4 são apresentadas as análises dos resultados obtidos a partir das experiências realizadas no projeto.

O Capítulo 5 finalizará o trabalho. Neste capítulo são apresentadas as conclusões acerca do trabalho desenvolvido, assim como os limites de operação, o tipo de aplicação mais adequada, as possíveis melhorias para trabalhos futuros; tendo em seguida as referências bibliográficas, anexos e apêndices.

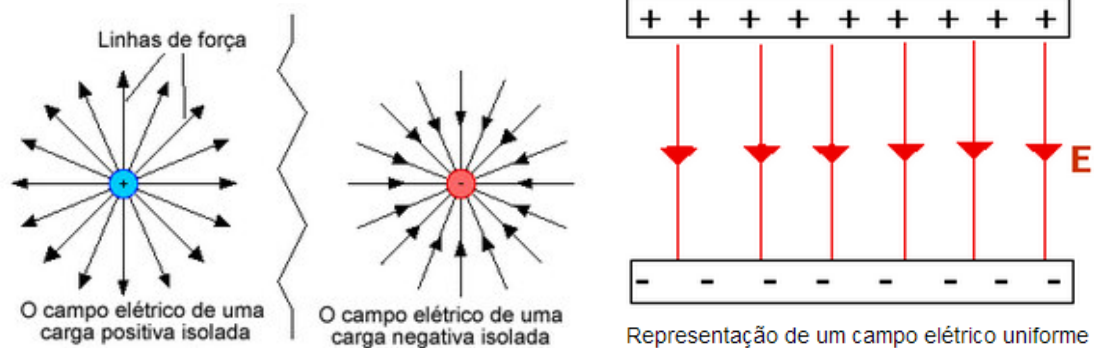


## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ELETROMAGNETISMO E AS EQUAÇÕES DE MAXWELL

#### 2.1.1 Campo Elétrico

“Uma carga, ou um conjunto de cargas elétricas,  $Q$ , sem movimento no espaço, tem a propriedade de criar, no volume que a envolve, uma grandeza chamada campo elétrico  $\vec{E}$ . O campo elétrico é um campo de vetores” (BASTOS, 2008). Na figura 2 podem-se ver alguns exemplos que mostram as linhas de ação do campo elétrico.



**Figura 2: Representação do campo elétrico**  
**Fonte: Carlos Roberto de Lana, 2005**

A densidade de fluxo elétrico, ou seja, a somatória de linhas de campo elétrico que atravessam perpendicularmente determinada área é definida por:

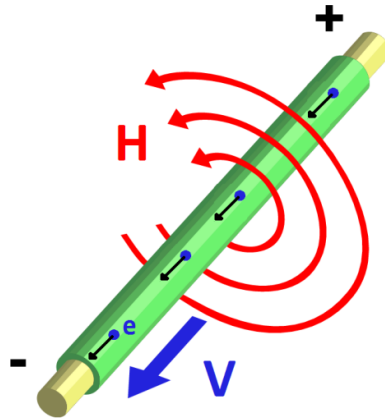
$$\vec{D} = \varepsilon \cdot \vec{E} \quad (1)$$

Onde  $\varepsilon$  é a permissividade elétrica do meio no qual o campo se propaga.

#### 2.1.2 Campo Magnético

A partir de um ímã permanente, um campo elétrico variante no tempo ou através da passagem de corrente num condutor, ou seja, cargas elétricas em

movimento cria-se um campo magnético  $\vec{H}$  (HAYT, 2008). A figura 3 mostra como o campo magnético é formado a partir do movimento de cargas elétricas:



**Figura 3: Campo magnético criado pelo deslocamento de cargas elétricas**  
Fonte: Wikipedia, 2007.

A densidade de campo magnético  $\mathbf{B}$  é obtida a partir de:

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \quad (2)$$

Sendo que  $\mu$  é a permeabilidade magnética. Este é um valor que representa quanto um meio é capaz de se mostrar mais ou menos susceptível a passagem do fluxo magnético (BASTOS, 2008). Para o vácuo tem um valor tabelado de  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{H/m}$ . O fluxo magnético  $\Phi$  é a intensidade de indução magnética que flui por uma área  $S$ , dessa forma, define-se a seguinte integral de superfície:

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (3)$$

### 2.1.3 Densidade Superficial De Corrente

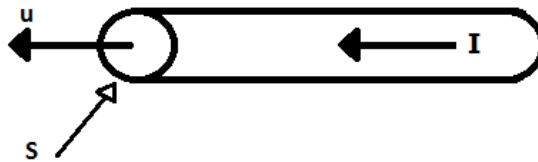
O deslocamento de cargas elétricas no tempo, através de uma superfície, produz uma corrente definida pela seguinte equação:

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (4)$$

Esta equação é bem conhecida na área elétrica, porém sua aplicação é restrita para apenas um ponto de referência. Porém, a partir da teoria de campos, pode-se calcular a densidade de corrente  $\vec{J}$ , sendo esta um vetor com sua unidade em Ampères por metro quadrado (HAYT, 2008).

Para obter a equação da densidade superficial de corrente que atravessa uma seção precisa-se arbitrar “um vetor unitário  $\vec{u}$  com direção perpendicular à seção S e no sentido no qual a corrente flui” (BASTOS, 2008), conforme a figura 4 (BASTOS, 2008). Desta forma tem-se a seguinte equação:

$$J = \frac{I}{S} \quad (5)$$



**Figura 4: Corrente no condutor e seção S**  
**Fonte: Bastos(p.48, 2008).**

Para calcular a corrente em um condutor com  $\vec{J}$  variável basta fazer a integração de superfície para em cada elemento de área  $dS$ , por mais que  $\vec{J}$  varie na seção S:

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{S} \quad (6)$$

#### 2.1.4 Densidade Volumétrica De Cargas

Para um objeto tridimensional é possível determinar a densidade volumétrica  $\rho$  a partir de uma carga  $dq$  contida em um elemento de volume  $dV$ , ou seja:

$$\rho = \frac{dq}{dV} \quad (7)$$

a partir da integração de elementos de volume  $dV$  com  $\rho$  variável ao longo de um volume pode-se encontrar o valor de uma carga não distribuída uniformemente, da seguinte forma (BASTOS, 2008):

$$Q = \int \rho \cdot dV \quad (8)$$

### 2.1.5 Equações De Maxwell

As leis de Maxwell sintetizam a dinâmica acerca dos fenômenos elétricos e magnéticos em quatro equações. A partir destas é possível solucionar inúmeros problemas de diferentes complexidades e apesar disto são de fácil compreensão. As quatro leis de Maxwell serão apresentadas neste trabalho, pois a partir delas variados fenômenos e comportamentos com soluções particulares são explicados dentro do ramo da eletricidade. Em particular será dada ênfase a corrente de deslocamento descrita pela 4ª lei de Maxwell, que será apresentada em um capítulo posterior com mais detalhes.

No presente trabalho serão utilizadas as equações de Maxwell na forma integral, pois as mesmas são mais apropriadas para as soluções analíticas de problemas (BASTOS, 2008).

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_v \rho_v dv \quad (9)$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (10)$$

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (11)$$

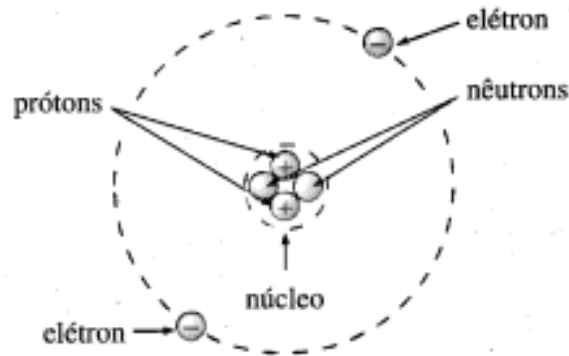
$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \left( \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S} \quad (12)$$

## 2.2 CARGAS ELÉTRICAS

As primeiras observações acerca da eletrostática remetem ao século IV a.C., ainda na Grécia antiga, onde constatou-se o fenômeno da atração de alguns objetos pela resina vegetal fóssil, âmbar, quando esfregada por um pedaço de lã.

A partir de constatações como esta, os fenômenos elétricos passaram a ser mais investigados de forma que diversas teorias foram desenvolvidas. Com advento dos estudos sobre a estrutura da matéria e as teorias atômicas descobriu-se grande intimidade destas cargas elétricas com os fenômenos de origem elétrica (SILVA, 2011).

Com as contribuições dos físicos John Joseph Thomson (1856-1940), Ernest Rutherford (1871-1937) e Niels Bohr (1885-1962), chegou-se ao modelo de estrutura atômica conhecido como modelo planetário do átomo. Neste modelo o elemento que forma a matéria é o átomo e este é constituído por elétrons (partículas com carga negativa), prótons (partículas com carga elétrica positiva) e nêutrons (partículas com carga neutra). Os elétrons orbitam o núcleo, que é constituído pelos prótons e nêutrons conforme a figura 5:



**Figura 5: Estrutura atômica**  
**Fonte: Boylestad, (2008, p.48).**

### 2.2.1 Quantização Da Carga Elétrica

Ainda no século XVIII acreditava-se que a carga elétrica era um fluido contínuo; porém a partir do início do século XX descobriu-se que a carga elétrica era sempre múltipla de um número inteiro correspondente a quantidade de elétrons, em outras palavras, não existe um “meio elétron” ou uma fração deste. Hoje sabemos, experimentalmente, que essa carga elementar corresponde a:  $e^- = 1,62021773 \cdot 10^{-19}\text{C}$ . Devido essa característica de que a carga só pode ser encontrada em quantidades múltiplas de números inteiros, a carga elétrica é considerada uma grandeza quantizada (Resnick, Halliday, Krane, 1996).

### 2.2.2 Forças Eletrostáticas

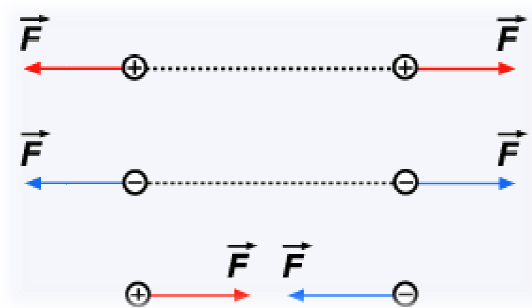
Uma característica importante observada sobre as cargas elétricas, investigada pelo físico francês Charles-Augustin de Coulomb, foi a força elétrica gerada pela interação entre partículas elétricas. Esta interação foi equacionada, experimentalmente, por:

$$F = \frac{k \cdot Q1 \cdot Q2}{R^2} \quad (13)$$

Onde  $F$  é a força, de repulsão ou atração, entre as partículas distanciadas por  $R$ ,  $Q1$  e  $Q2$  são as cargas elétricas correspondente ao corpo 1 e a ao corpo 2, respectivamente e  $k$  é uma constante descrita por:

$$k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \quad (14)$$

Em que  $\epsilon_0$  é a constante de permissividade no vácuo:  
 $\epsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ .



**Figura 6: Força entre partículas**  
**Fonte: E-FÍSICA, 2007.**

Como apresentado na figura 6, as forças na eletrostática diferem da força gravitacional, que é apenas de atração, enquanto que as forças eletrostáticas podem ter característica atrativa ou repulsiva, atrativa, quando as cargas têm sinais opostos, e repulsiva, quando as cargas têm sinais iguais.

### 2.2.3 Cargas Induzidas

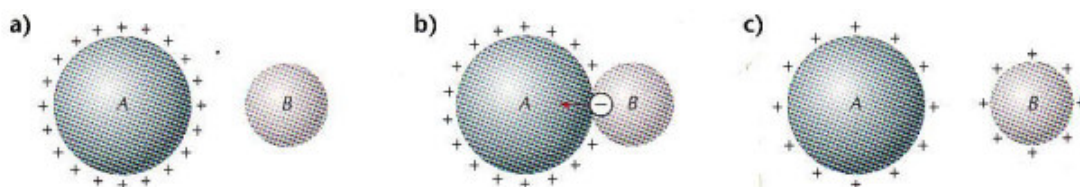
Os processos de eletrização de um objeto podem ocorrer de 3 formas, dentre elas estão: eletrização por contato, atrito e indução (MARQUES).

Eletrização por atrito.

Como visto anteriormente os átomos são constituídos por prótons neutros e elétrons, pode-se dizer que um átomo é eletricamente neutro quando seu número de prótons é igual ao número de elétrons (RAMALHO, 2007). Os átomos possuem diferentes níveis quanto a facilidade ou dificuldade de perder elétrons, dessa forma, “o átomo pode perder sua neutralidade, adquirindo uma carga positiva (se perder elétrons) ou negativa (se receber elétrons)” (RAMALHO, 2007). Após perder sua neutralidade, ou seja, estar com elétrons em excesso ou com falta dos mesmos, pode se dizer que um corpo está eletrizado. O processo de eletrização por atrito ocorre quando corpos feitos de materiais diferentes são atritados, como alguns materiais apresentam facilidade para receber elétrons e outros materiais facilidade para perder elétrons, dessa forma, um material irá ceder elétrons e outro irá receber elétrons (RAMALHO, 2007).

Eletrização por contato.

O processo de eletrização por contato basicamente ocorre quando um condutor neutro toca outro condutor energizado com alguma carga. Um exemplo clássico de eletrização por contato é quando um corpo A, com carga elétrica positiva, toca um corpo B, eletricamente neutro. Neste contato há transferência de cargas elétricas do corpo B para o corpo A, de modo que os dois corpos passem a apresentar carga elétrica de mesmo sinal como mostra a figura 7 (RAMALHO, 2007).



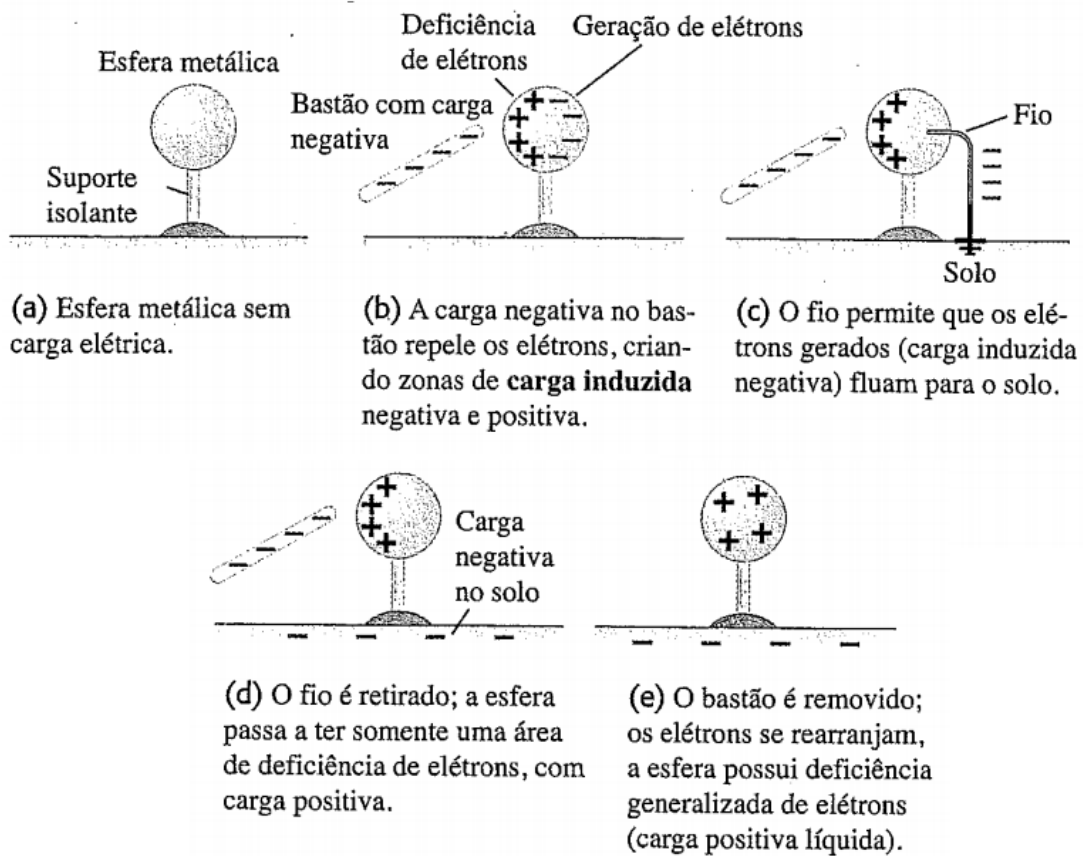
**Figura 7: Eletrização por contato.**  
**Fonte: Ramalho (2007, pág. 6)**

Pode-se também eletrizar um condutor inicialmente neutro através do contato do mesmo com um condutor eletricamente negativo (RAMALHO, 2007).

Eletrização por indução.

Um exemplo de eletrização por indução amplamente citado na literatura é o de um bastão carregado negativamente, ou seja, com excesso de elétrons, e uma esfera inicialmente neutra apoiada em um suporte isolante (figura 8a). Aproximando o bastão carregado da esfera neutra, os elétrons do bastão irão repelir os elétrons contidos na esfera, o que fará com que seja criada uma zona positiva e outra negativa na esfera, conforme mostra a figura 8b. Ao conectar-se o lado negativo à terra, observar-se-á o escoamento de cargas negativas através do condutor para o solo (figura 8c). Ao retirar-se o bastão, verifica-se que a esfera está carregada positivamente, com isso conclui-se o processo de eletrização por indução (YOUNG, 2009).





**Figura 8: Carregando uma esfera metálica por indução**  
 Fonte: Young (2009, pág 6).

### 2.3. A CORRENTE DE DESLOCAMENTO

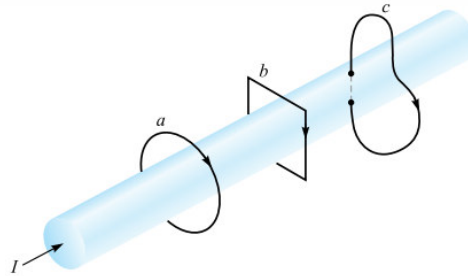
Para discutir sobre corrente de deslocamento é necessário um conhecimento prévio sobre a lei de Ampère, descrita pela seguinte equação:

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = I \quad (15)$$

A lei de Ampère define que a integral de linha do campo magnético, para qualquer superfície que envolva o caminho L, é igual à corrente contínua envolvida pelo caminho L (HAYT, 2008).

Segundo a lei de Ampère a integral de linha de  $\vec{H}$  ao longo dos caminhos fechados a e b, como mostrado na figura 9, é igual a corrente I envolvida por estes

caminhos. Para o caminho  $c$  tem-se que a resultado da integral de linha de  $\vec{H}$  é ligeiramente menor que a corrente  $I$ , devido ao fato de que este caminho não envolve completamente corrente  $I$  (HAYT, 2008).



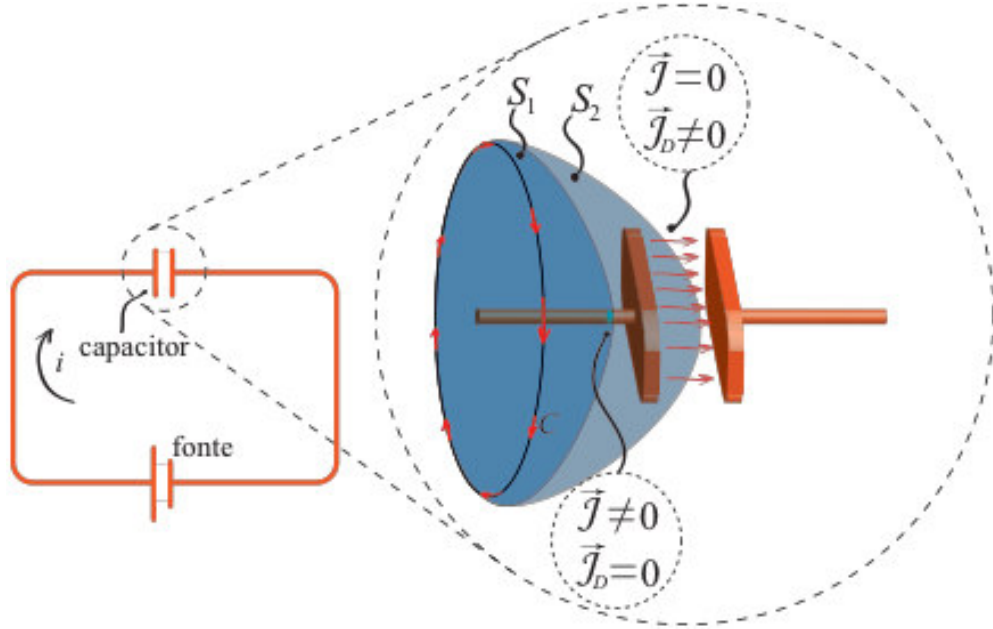
**Figura 9: Condutor sujeito a passagem de corrente elétrica  $I$ . Caminhos  $a$ ,  $b$  e  $c$ .**  
Fonte: HAYT (2008, p. 219).

Como descreve HAYT, o caminho fechado que envolve uma dada corrente elétrica pode ser tido como o perímetro de uma superfície qualquer, desde que a mesma seja não fechada.

Na figura 10 tem-se um circuito de um capacitor em série com uma fonte de tensão variável no tempo, e como se sabe aparecerá uma corrente (IRWIN, 2000):

$$i_c = C \frac{dv}{dt} \quad (16)$$

Utilizando-se dos conceitos da lei de Ampère, as duas superfícies,  $S1$  e  $S2$ , na figura 10, estão delimitadas pela mesma linha fechada  $C$ , portanto a integral de linha de  $\vec{H}$  ao longo de  $C$  resulta no mesmo valor, ou seja, corrente  $I$ , para as duas superfícies ( $S1$  e  $S2$ ). Apesar de, por meio da lei de Ampère, demonstrar que a corrente  $I$  atravessa  $S2$ , observa-se que esta corrente (calculada), não se apresenta na forma de deslocamento de elétrons, já que os materiais dielétricos não possuem cargas elétricas livres, portanto não favorecem a circulação de corrente elétrica, ou seja, tem-se que o deslocamento de cargas elétricas no interior de um capacitor pode ser considerado nulo (HAYT, 2008). Como para o circuito da figura 10 há circulação de corrente, observa-se uma limitação para a lei de Ampère, pois há circulação de corrente elétrica (deslocamento de elétrons) no circuito, mas não se verifica essa corrente, na forma de deslocamento de elétrons, no capacitor.



**Figura 10: Corrente de deslocamento**  
**Fonte: Fontana, 2013.**

Como solução para esse problema, Maxwell adicionou uma variável, denominada corrente de deslocamento, no lado direito da equação, adição condicionada apenas para a existência de um campo elétrico variante no tempo, resultando na equação (18) (HAYT, 2008). Para melhor entender a corrente de deslocamento contida na lei de Maxwell, separa-se os membros do lado direito da equação, obtendo assim:

$$\int_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = I \quad (17)$$

e

$$\int_S \left( \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S} = Id \quad (18)$$

Verifica-se que a equação (17) corresponde a corrente de condução, já descrita pela lei de Ampère, ou seja, a corrente que atravessa o fio condutor, na

forma de deslocamento de elétrons. A equação (18) corresponde a corrente de deslocamento. Substituindo a equação (1) na equação (18) tem-se:

$$\int_S \left( \frac{\partial(\epsilon \cdot \vec{E})}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S} = Id \quad (19)$$

Como  $\epsilon$  é constante,

$$\epsilon \cdot \int_S \left( \frac{\partial(\vec{E})}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S} = Id \quad (20)$$

Obtendo o potencial elétrico a partir do campo elétrico, sabe-se que:

$$\vec{E} = - \text{grad } V \quad (21)$$

Então, obtém-se:

$$-\epsilon \cdot \int_S \left( \frac{\partial(\text{grad } V)}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S} = Id \quad (22)$$

Dessa forma, conclui-se que a corrente de deslocamento é consequência da variação temporal do potencial elétrico.

## 2.4. O EFEITO CAPACITIVO

### 2.4.1 Capacitância

Antes de falar sobre efeito capacitivo, faz-se necessário falar sobre a raiz do conceito, o fenômeno físico que dá origem ao efeito, a capacitância.

A capacitância pode ser definida como a propriedade que permite um circuito elétrico de armazenar energia elétrica através de um *campo eletrostático* e, depois de algum tempo, *liberar essa energia*. Os dispositivos

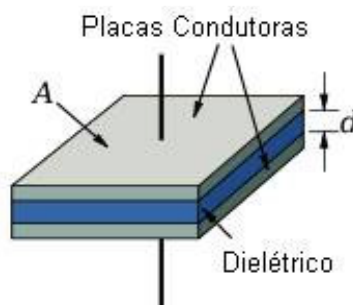
que introduzem capacitância num circuito são os *capacitores*. Fisicamente, sempre que um material *isolante separa dois condutores* submetidos a uma diferença de potencial, forma-se um capacitor. (MILEAF, 1982, p. 110) Grifo próprio.

Capacitância é fundamentalmente a capacidade de se armazenar energia eletrostática. Tem-se uma diferença de potencial aplicada sobre condutores e um meio isolante e então um capacitor é formado. Esta capacidade pode ser mensurada por meio da seguinte equação:

$$C = \frac{q}{v} \quad (23)$$

Onde  $q$  é a carga dada em Coulomb,  $v$  é a tensão ou diferença de potencial dada em Volt, e Faraday é o nome da unidade de capacitância que é igual a Coulomb por Volt (DURNEY, 1985).

Um capacitor é basicamente formado por placas condutoras e um meio isolante entre elas - dielétrico.



**Figura 11: Capacitor**  
Fonte: Gomes, 2010.

Os capacitores são construídos conforme a necessidade de armazenamento de energia e, para tanto, possuem características construtivas que variam de acordo com a necessidade. Há capacitores eletrolíticos, cerâmicos, de poliéster, cilíndricos, não cilíndricos, de potência, entre outros. As características construtivas que influenciam diretamente na capacitância são três: área da superfície das placas; distância entre as placas e material de que é feito o isolante (MILEAF, 1982).

No caso da área das placas, a capacitância é diretamente proporcional, ou seja, quanto maior a placa maior a capacitância. Já no caso da distância entre as placas é inversamente proporcional, porém a distância não pode ser zero, se não

seria um curto, isto é, a distância é um fator dependente do dielétrico e da diferença de potencial aplicada às duas placas. O material do dielétrico pode ser ar, vidro, papel ou vácuo. O fator que define a diferença entre dielétricos é a facilidade que as cargas do dielétrico têm de serem influenciadas pelo campo elétrico. Quando o dielétrico possui moléculas, que com facilidade são influenciadas por forças eletrostáticas, ele acaba se polarizando juntamente com as placas, o que aumenta a capacitância. Este é considerado um bom dielétrico (MILEAF, 1982).

Partindo do conceito de formação de um capacitor, ou seja, tendo-se uma diferença de potencial entre dois condutores e um isolante entre eles, pode-se considerar que há muitos “capacitores”, ou fontes de capacitâncias, presentes no dia a dia. Entretanto, o importante é saber o quanto uma capacitância influencia ou não um sistema. Por exemplo, nas linhas de transmissão o efeito capacitivo é estudado e dimensionado, tendo em vista a grande diferença de potencial entre os condutores e o ar formando um dielétrico entre eles, a capacitância gerada nesta situação é muito significativa para o sistema (STEVENSON, 1978).

O efeito capacitivo pode ser conceituado como: a partir de uma diferença de potencial presente entre dois condutores separados por um dielétrico qualquer, tem-se um “capacitor”, ou seja, esta situação possui influência de efeito capacitivo.

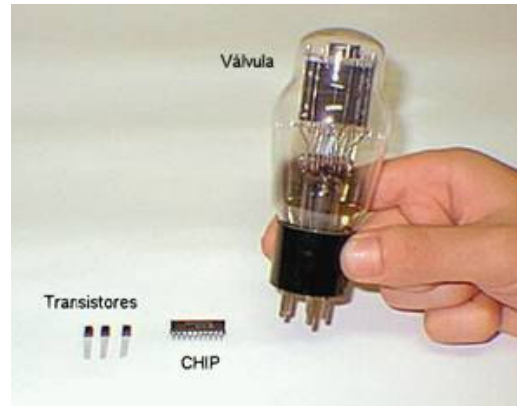
## 2.5 TRANSISTORES

Por meio do progresso da tecnologia, foi possível o surgimento de invenções científicas inovadoras - rádio, avião, computador, telefone, etc. Da mesma forma, uma dessas invenções notáveis é o transistor.

Antes dos transistores serem inventados, o componente mais utilizado para desempenhar a função de chave era a válvula. Válvulas, quando acionadas, demoravam a funcionar, pois dependiam de um aquecimento inicial para trabalharem normalmente. Este aquecimento, o pesadelo dos projetistas, consumia potência e por isso um equipamento a válvula necessitava de uma alimentação robusta, desta feita eram equipamentos grandes e pesados (MALVINO, 1987).

Anunciado a imprensa pelos cientistas John Bardeen e Walter Brattain em junho de 1948, o transistor – fruto de vastos estudos sobre semicondutores – agregou vantagens significativas à tecnologia. Formado por material mais leve,

podendo ser manipulado microscopicamente, reduziu de maneira drástica o tamanho de equipamentos eletrônicos como computador, por exemplo (CRUZEIRO, 1964).



**Figura 12: Comparação de tamanhos entre válvula e transistores.**  
Fonte: CPU-UP, 2010.

Há vários tipos de transistores descobertos desde então, – dentre os quais: TBJ, MOSFET, FET - cada qual para uma função apropriada de acordo com os objetivos de cada aplicação. Todavia, dentre estes, o foco para este projeto é o transistor bipolar de junção.

### 2.5.1 Transistores Bipolares De Junção

O transistor bipolar apresenta uma variedade de opções de ligação nas quais as variantes influenciam completamente no resultado do circuito, como: tipo do transistor (pnp ou npn) tipo de configuração (emissor, base ou coletor comum), modo de operação (ativo ou chave), etc. sem mencionar a presença de outros componentes comuns em circuitos como: resistores, capacitores, indutores, entre outros.

O funcionamento deste componente está diretamente ligado à maneira como são polarizados seus terminais de ligação, emissor, base e coletor. De acordo com estas polarizações e suas variantes obtêm-se os três modos de operação do transistor. São eles: amplificador, chave aberta, chave fechada, ou ainda modo ativo, corte e saturação, que são seus sinônimos respectivamente. As polarizações podem ser feitas mudando os polos da fonte de energia proporcionando polarização direta ou reversa em determinada junção (SEDRA, 2002).

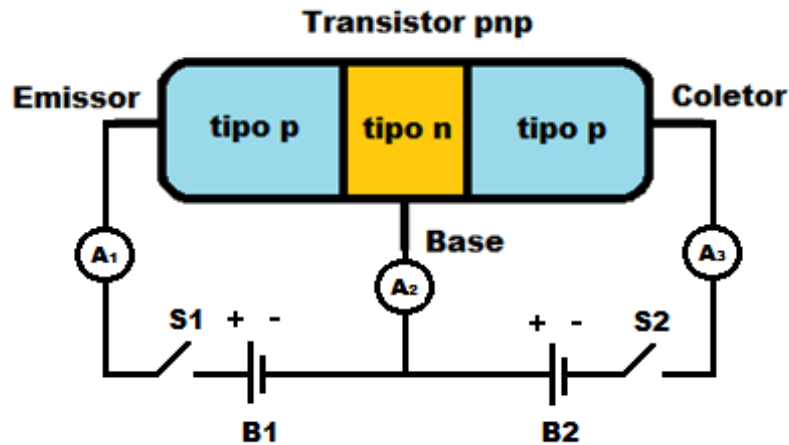


Figura 13: Polarização do transistor pnp  
Fonte: Cruzeiro (1964, p 74).

A relação entre a corrente da base e do coletor é dada por meio da equação:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad (24)$$

Beta,  $\beta$ , é chamado de ganho de corrente de emissor comum, ou simplesmente ganho do transistor, que define quantas vezes a corrente de base é amplificada refletindo na corrente do coletor. Quanto maior o beta, maior a capacidade de amplificação de um transistor. Este valor de ganho é fornecido pelo fabricante, sendo em torno de 100 ou 200 para componentes simples e podendo chegar a 1000 para componentes especiais (SEDRA, 2005).

De mesma forma, a relação de proporção entre corrente do coletor e do emissor é dada por:

$$I_C = \alpha \cdot I_E \quad (25)$$

Alfa,  $\alpha$ , é chamado por ganho de corrente base comum e pode se inter-relacionar com beta da seguinte forma:



$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (26)$$

Embora os transistores apresentem todas essas possibilidades de funcionamento, o modo de operação utilizado para o desenvolvimento deste projeto é sem dúvida o modo ativo. Por este motivo esse modo terá prioridade no corpo deste trabalho.

#### 2.5.1.1 Transistor Operando Como Amplificador

O princípio básico da amplificação de um transistor é a variação de resistências de entrada e saída que ele disponibiliza perante a polarização de seus pinos. Por exemplo, supõe-se um circuito de configuração base comum alimentado por uma fonte de tensão alternada de 200 mV e tendo na saída um resistor de 5 k $\Omega$ . Percebe-se que a partir da polarização de seus pinos, de forma a o manter na região ativa, suas resistências de entrada e saída podem variar, entre 10 e 100 $\Omega$  para entrada, e valores aproximados numa faixa de 20  $\Omega$  a 100 k $\Omega$  para a saída. Esses valores de resistência, intrínsecas ao componente, variáveis de acordo com a polarização é que possibilitam o comportamento amplificador do transistor (BOYLESTAD, 1994).

Partindo da polarização adequada para operar o transistor em modo ativo pode-se estudar as características do transistor funcionando como amplificador. Para que o transistor funcione como amplificador é preciso que, além da polarização correta das junções, seja estimulada uma corrente constante no emissor ou coletor (SEDRA, 2005).

Adotando a configuração emissor comum e, variando as correntes na base, obtém-se o seguinte gráfico de saída em curvas relacionando  $I_C$ ,  $V_{CE}$  e  $I_B$  (figura 14). Olhando para o gráfico, percebem-se os três modos de operação embutidos. Escolhendo uma tensão (eixo x) e uma corrente (eixo y) fixas que permaneçam na região ativa de funcionamento, nota-se que variando a corrente de base  $I_B$  obtém-se a corrente amplificada de  $I_C$  proporcionalmente. Este “proporcionalmente” é expresso pelo ganho  $\beta$  mencionado anteriormente.

Vale a pena mencionar que o funcionamento como amplificador para um transistor tem os mesmos princípios, porém algumas diferenças de desempenho quando se varia seus modos de ligação. Para expor este argumento, segue o quadro 1: modos de ligação x características principais.

Relacionando modos de ligação com características obtidas para cada configuração.

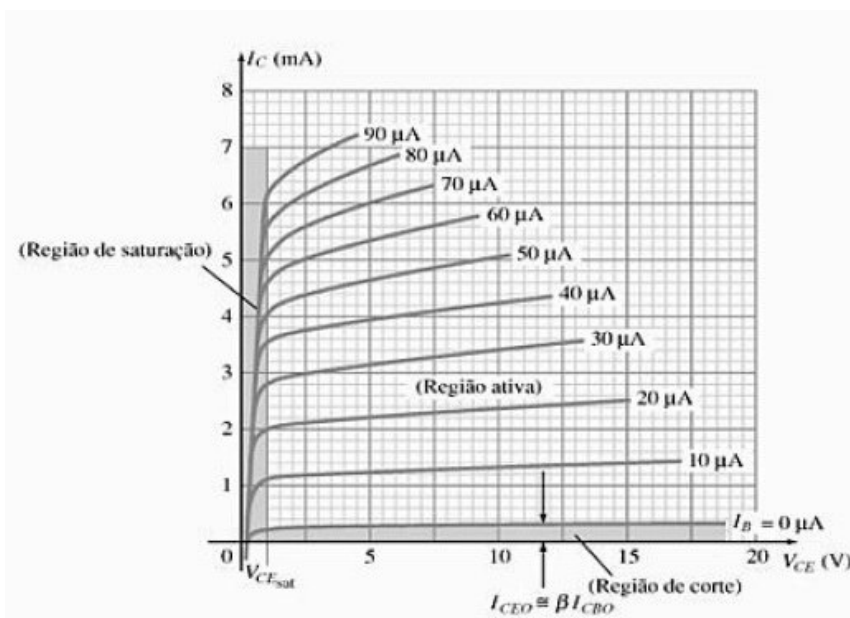


Figura 14: Curvas características de um transistor configuração emissor comum  
Fonte: Boylestad (p. 107, 1994)

Modos de ligação	Características Principais
	Ganho de Tensão: grande Ganho de Corrente: próximo a um Resistência de Saída: grande ( $\approx 500k\Omega$ ) Resistência de Entrada: pequena ( $\approx 50\Omega$ )
	Ganho de Tensão: médio Ganho de Corrente: grande Resistência de Saída: média Resistência de Entrada: média
	Ganho de Tensão: próximo a um Ganho de Corrente: grande Resistência de Saída: pequena Resistência de Entrada: grande

Quadro 1: Modos de ligação x Características Principais.  
Fonte: Ferreira (p. 48 e 49, 1983).

## 2.6 TEMPORIZADOR 555

Segundo LaLond (1999) dentre os circuitos temporizadores, o temporizador 555 é classificado como o mais popular para utilização em circuitos. Por possuir várias aplicações - monoastável, astável, fontes de alimentação, medições e controles, temporizador, telecomunicações, entre outras – e depender de poucos componentes externos explicam a preferência pelo seu uso.

O 555 trabalha com uma faixa de 4,5 V a 18 V de alimentação e pode ser considerado estável a variações de temperatura e de tensão de entrada mantendo os pulsos emitidos na saída com pequenas variações. Pode alimentar até 200 mA de corrente em sua saída, tornando-se ideal para comando de relés e LEDs (LALOND, 1999).



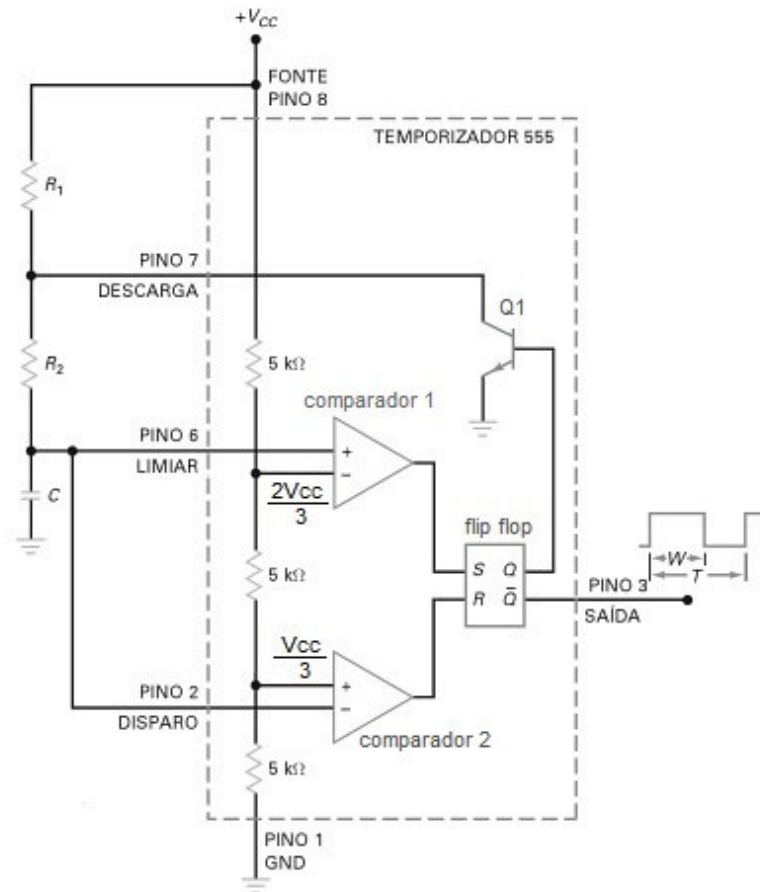
**Figura 15: Temporizador 555.**  
**Fonte: Wikipedia, 2008.**

O temporizador possui basicamente dois modos de operação: monoastável e astável. No modo monoastável, o CI funciona como um temporizador, mantendo a saída estável em um nível lógico (alto ou baixo) por um tempo programado. Já no modo astável ele não mantém a saída estável, mas oscilante, gerando uma onda quadrada, permitindo a configuração de parâmetros como ciclo de trabalho e frequência (BATES, 2007).

### 2.6.1 O 555 operando no modo astável

Como anteriormente explicado, no modo astável o 555 gera uma saída oscilatória em forma de onda quadrada. A fim de estabelecer uma frequência para

onda retangular, são necessários componentes externos - resistores e capacitores (BATES, 2007).

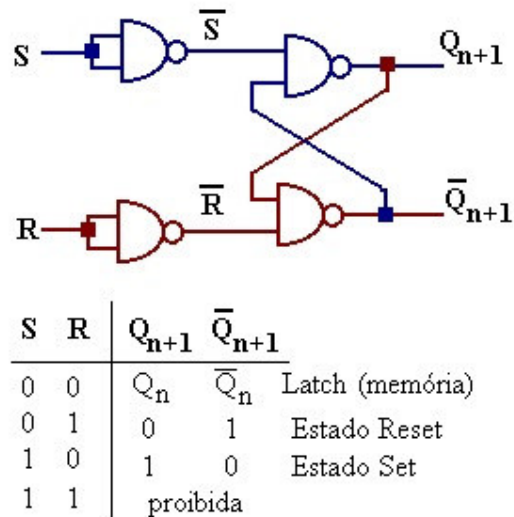


**Figura 16: Circuito representativo do temporizador 555.**  
**Fonte: Bates (2007 p 359).**

Por meio da figura 16 pode-se entender como funciona o multivibrador no modo astável. Primeiramente é importante notar que os comparadores são configurados com uma tensão de referência proporcional a  $V_{CC}$ . Por meio de três resistores de  $5k\Omega$  pode-se determinar que o comparador 1 assume  $2/3$  de  $V_{CC}$  e que o comparador 2 assume  $1/3$  de  $V_{CC}$  em um de seus pinos. Os comparadores têm a função de estabelecer nível alto na saída caso a tensão entre seus dois pinos assuma um valor igual (entenda-se nível lógico alto ou 1 como expressões equivalentes, assim como nível lógico baixo ou 0).

O *flip flop* possui duas entradas e duas saídas. Onde “S” é o set, “R” é o reset (as entradas), “Q” é a saída afirmativa e “ $\bar{Q}$ ” a saída “Q” negada. Quando ligamos o circuito, o *flip flop* começa com o S e R em nível lógico zero e por isso

podemos assumir que as saídas  $Q$  em nível baixo e  $\bar{Q}$  em nível alto. Na figura 17 a seguir pode-se compreender de forma clara o funcionamento do *flip flop*.

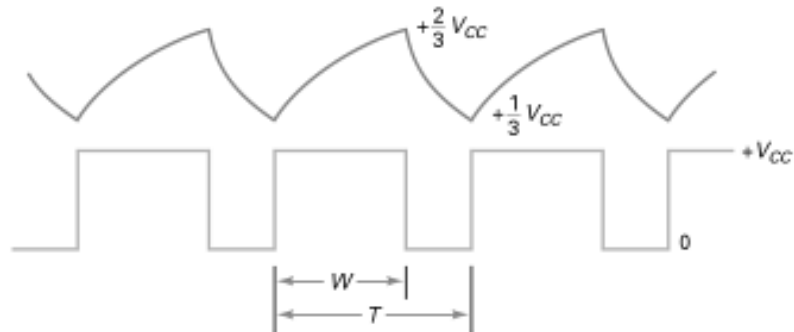


**Figura 17: Ciclo *flip flop***  
**Fonte: Endigital, 2011.**

Neste caso inicial, supondo-se que a memória do *flip flop* seja  $Q$  igual a 0 e  $\bar{Q}$  igual a 1, a saída é igual a nível lógico alto, pois a saída está conectada a  $\bar{Q}$ . Então o capacitor  $C$  começa a carregar até chegar a  $1/3$  de  $V_{CC}$ . Neste instante o comparador 2 manda nível lógico 1 em sua saída resetando o *flip flop* que já se encontra no estado inicial, não modificando em nada a saída. Contudo o capacitor continua carregando até chegar a tensão de  $2/3$  de  $V_{CC}$ . Então, com este valor de tensão, o comparador 1 gera saída de nível 1 comutando o *flip flop* e assim fazendo com que  $Q$  vá para nível alto e  $\bar{Q}$  (a saída) para nível baixo consequentemente. Além de comutar o *flip flop*, altera a saída para zero (nível baixo) e fecha o transistor  $Q1$  possibilitando que o capacitor descarregue por meio do caminho fechado de  $Q1$  operando como chave.

Em seguida o capacitor descarrega até chegar à tensão igual a  $1/3$  de  $V_{CC}$  novamente fazendo com que o comparador mande 1 na saída comutando o reset do *flip flop* e como resultado mudando  $Q$  para zero e  $\bar{Q}$  para 1, logicamente mudando a saída para 1 (nível lógico alto) e operando o transistor  $Q1$  fazendo com que o capacitor recomece a carregar reiniciando o ciclo.

Podemos observar nas ondas referentes ao capacitor sua carga e descarga bem como a saída em comutação por meio da figura 18.



**Figura 18: Ondas do capacitor C e saída do 555**  
Fonte: Bates (2007 p 359).

### 3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Neste capítulo serão apresentadas as simulações e montagem de ambos os circuitos, apresentando os detalhes acrescentados, etapas de montagem bem como comentários sobre as alterações realizadas.

#### 3.1 CIRCUITOS

Baseados em todos os conceitos teóricos apresentados anteriormente serão apresentados a seguir os circuitos estudados a fim de construir este projeto. É formado por dois circuitos: o circuito gerador e o circuito receptor.

A figura 19 demonstra os efeitos e os princípios elétricos por meio dos quais explica o funcionamento do projeto. Tem-se um condutor a ser testado e supõe-se que seja um condutor coeso e apresente continuidade por si só. Neste caso, o circuito gerador, alimentado por bateria, gera uma onda quadrada. Esta onda polariza alternadamente o condutor em dois potenciais: VCC da bateria que alimenta o circuito gerador e zero de acordo com a frequência projetada. Obtendo esta polarização o circuito receptor, também alimentado por bateria, percebe a variação de potencial indicando essa percepção por meio de um sinal luminoso ou sonoro.

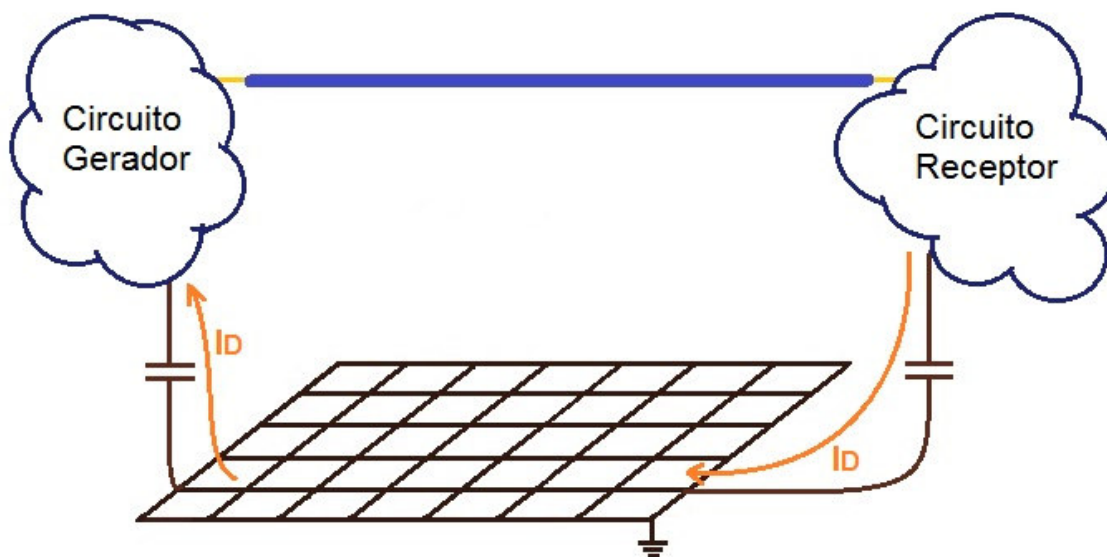


Figura 19: Desenho esquemático do projeto  
Fonte: Autoria Própria.

Os dois circuitos, gerador e receptor, são alimentados por baterias individuais. Então se propõe que a comunicação entre os circuitos se dê por meio de um plano de terra que está eletromagneticamente conectado aos dois circuitos por efeito capacitivo. Efeito este que pode ser inclusive estimado. Em consequência destes efeitos, a partir da variação do potencial no condutor, podemos garantir a variação do campo elétrico o que por sua vez proporciona a geração de uma corrente de deslocamento. Esta corrente permite a comunicação elétrica dos circuitos e possibilita a circulação de uma corrente, na ordem de  $\mu\text{A}$ , pelo condutor até a entrada do circuito receptor.

O plano de terra pode ser considerado como sendo o chão da instalação que se está medindo a continuidade, prevendo o fato de que construções são revestidas de grades e vigas de ferro que normalmente são aterradas proporcionando o potencial nulo para o plano de terra.

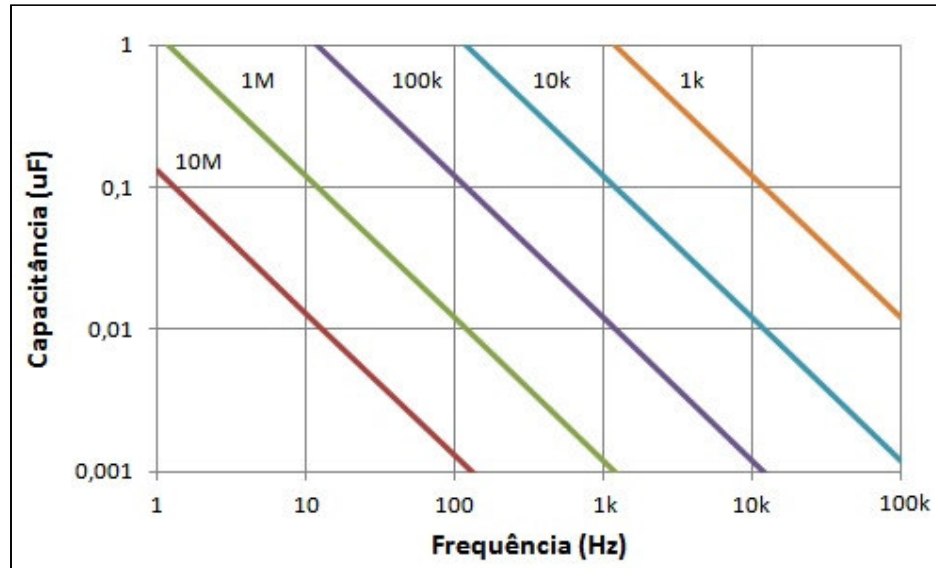
Desta forma seguem as simulações e as explicações a respeito dos circuitos utilizados para ser feita a montagem do projeto.

### 3.1.1 Circuito Gerador

Para o circuito gerador foi escolhido um temporizador 555 para produzir uma onda quadrada e para tanto, operando como multivibrador astável. Essa escolha, de geração de onda quadrada, foi tomada a fim de garantir a variação de polarização no fio a ser testado para que desta forma haja também uma variação de campo elétrico como comprovado no item 2.3 anteriormente.

Os componentes externos, resistores e capacitor, foram escolhidos de acordo com a frequência inicial que se pretende realizar os primeiros testes, podendo esta estar numa faixa de 1 a 5 kHz. Esta escolha foi baseada na figura 20 abaixo.



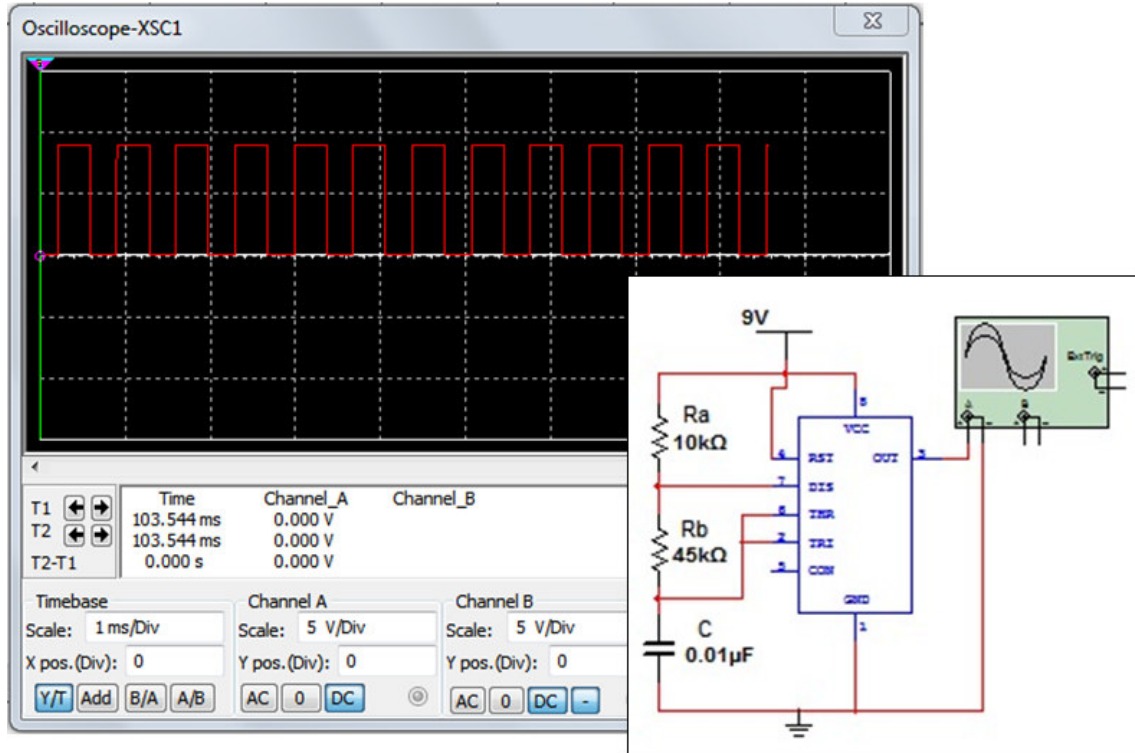


**Figura 20: Gráfico de Capacitância versus Frequência em um circuito com 555 na configuração monoastável.**  
**Fonte: Adaptado de Berlin (1976, p. 32).**

A indicação “10M, 1M, 100k, 10k e 1k” se refere à relação entre  $R_a$  e  $R_b$  (resistores indicados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). E a relação é  $(R_a + 2R_b) = \text{valor indicado}$  (BERLIN, 1976):

Escolhendo arbitrariamente um capacitor de  $0,01\mu\text{F}$ , por meio do gráfico inferimos que a reta que cruza o valor escolhido é a de 100k. Logo,  $R_a + 2.R_b = 100k$ . A partir dessa conclusão foram escolhidos os dois resistores:  $R_a = 10\text{ k}\Omega$  e  $R_b = 45\text{ k}\Omega$ .

Segue abaixo a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** retirada do simulador Multisim (Versão 11.0.1) contendo o circuito, bem como os valores escolhidos para os componentes externos.



**Figura 21: Simulação do Circuito Gerador.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Com intuito de visualizar a onda encontrada na saída do gerador, selecionou-se um osciloscópio do próprio software que nos permite colher a onda quadrada na saída que é mostrada na parte esquerda da **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Para encontrar o valor da frequência é preciso realizar alguns cálculos. O período (tempo de um ciclo completo de uma onda oscilatória) pode ser dividido em dois tempos:  $t_1$  para saída em nível alto e  $t_2$  para a saída em nível baixo – zero, neste caso (BERLIN, 1976). Para  $t_1$  tem-se:

$$t_1 = (R_a + R_b)C \ln \left( \frac{V_{cc} - 1/3V_{cc}}{V_{cc} - 2/3V_{cc}} \right) \quad (27)$$

Desta forma:

$$t1 = (Ra + Rb)C. 0,693 \quad (28)$$

Aplicando para os valores escolhidos para os componentes:

$$t1 = (10k + 45k). 0,01. 10^{-6}. 0,693 = 0,3812ms$$

Para o tempo t2 – tempo de nível baixo de saída:

$$t2 = 0,693. Rb. C \quad (29)$$

Aplicando:

$$t2 = 0,693. 45k. 0,01. 10^{-6} = 0,3119ms$$

A partir desses dois tempos calculados podemos calcular o período e em seguida a frequência (BERLIN, 1976).

$$T = t1 + t2 = 0,693(Ra + 2Rb). C \quad (30)$$

$$T = 0,3812. 10^{-3} + 0,3119. 10^{-3} = 0,6931ms$$

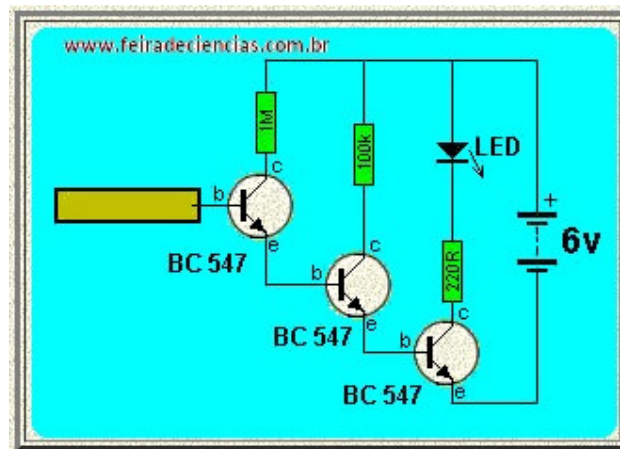
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,6931. 10^{-3}} = 1,443kHz$$

E assim, obtemos a frequência de saída do gerador de onda. Sabe-se do item 2.6.1 que a tensão de saída é VCC da bateria que alimenta o circuito, no caso 9 V.

Estes valores acima apresentados são arbitrados podendo ser alterados futuramente em testes reais na construção do trabalho.

### 3.1.2 Circuito Receptor

Utilizando transistores no modo amplificador em cascata, obteve-se a amplificação no sinal de saída igual ao sinal de entrada multiplicando-se em cada um dos transistores. A fim de encontrar o valor do ganho total do circuito, ou seja, quanto este é capaz de amplificar o sinal recepcionado é necessário calcular o beta de cada transistor. E para calcular-se o ganho  $\beta$  de cada um necessitamos saber as correntes  $I_C$  e  $I_B$  conforme a equação (24).



**Figura 22: Circuito Receptor**  
**Fonte: Ferraz, 2010.**

A figura 22 é a representação da ideia do circuito receptor, porém algumas alterações serão feitas, como por exemplo, a alimentação do circuito será em 9 V e não em 6 V como sugere a figura.

Com o objetivo de coletar as correntes que passam pelos transistores, foi feita uma simulação do circuito da qual se podem inferir estas correntes com facilidade e, desta forma, calcular o ganho total do circuito receptor.

Na figura 23 pode-se observar o circuito montado, onde as caixas cinza com janelas pretas são os amperímetros que medem as correntes que passam pelos transistores. O diodo azul com setas ao lado é um LED que está aceso, pois o triângulo da seta está azul claro; caso o LED estivesse apagado este triângulo estaria vazio, da cor do fundo da imagem – branco.

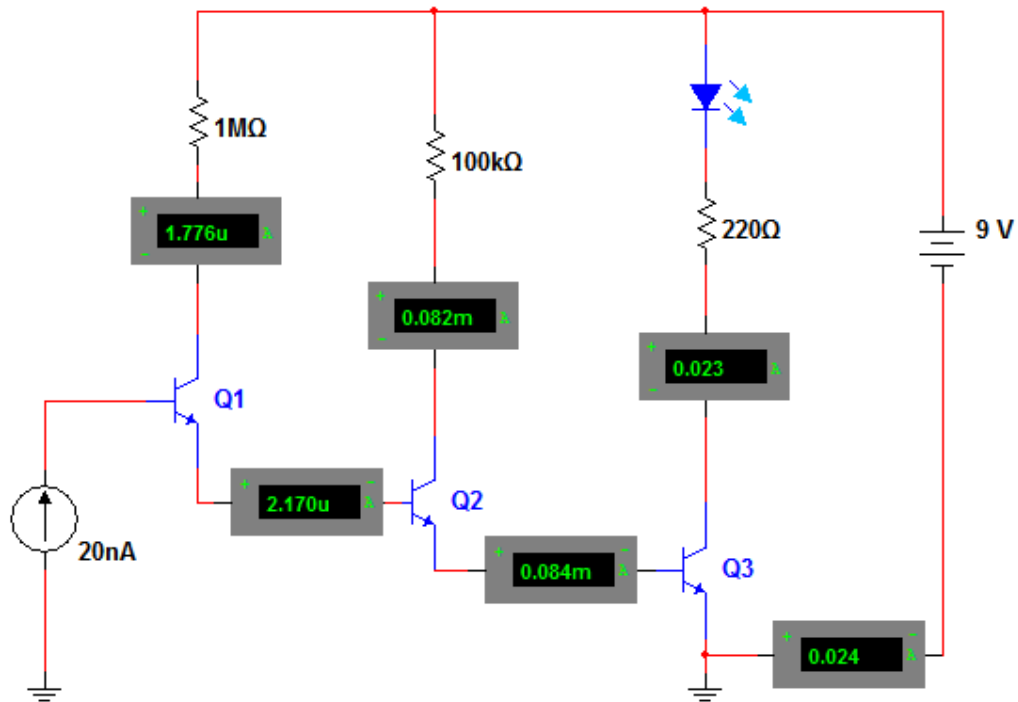


Figura 23: Circuito Receptor – Simulação .  
Fonte: Autoria Própria.

A partir de uma estimativa de corrente de 20nA percebidos pela base do transistor Q1, calcula-se:

$$\beta_{Q1} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1,776\mu}{20n} = 88,8$$

$$\beta_{Q2} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0,082m}{2,170\mu} = 37,79$$

$$\beta_{Q3} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0,023}{0,084m} = 273,81$$

Desta forma temos que o circuito receptor amplifica aproximadamente:

$$\beta_{TOTAL} = \beta_{Q1} \cdot \beta_{Q2} \cdot \beta_{Q3} = 88,8 \cdot 37,79 \cdot 273,81 = 918790,27$$

Por meio da figura da simulação percebemos que por mais que a corrente de entrada seja 20 nA a corrente que passa efetivamente pelo LED está muito amplificada de forma que se um LED comum necessita de uma corrente entre 20 mA e 30 mA (KUBATAMAIA, 2004) para acender, a corrente medida no LED de 23 mA é suficiente para acendê-lo.

### 3.1.3 Detector De Continuidade

Realizando simulações prévias do funcionamento dos dois circuitos torna-se interessante estimar, por meio de cálculos, qual a ordem do efeito capacitivo que liga eletricamente os dois circuitos.

Pode-se estimar este efeito utilizando a equação da capacitância para uma situação em que temos um condutor paralelo a uma superfície equipotencial submetida a um potencial zero (BUCK, 2013).

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{r_c}\right)} \quad (31)$$

Onde:

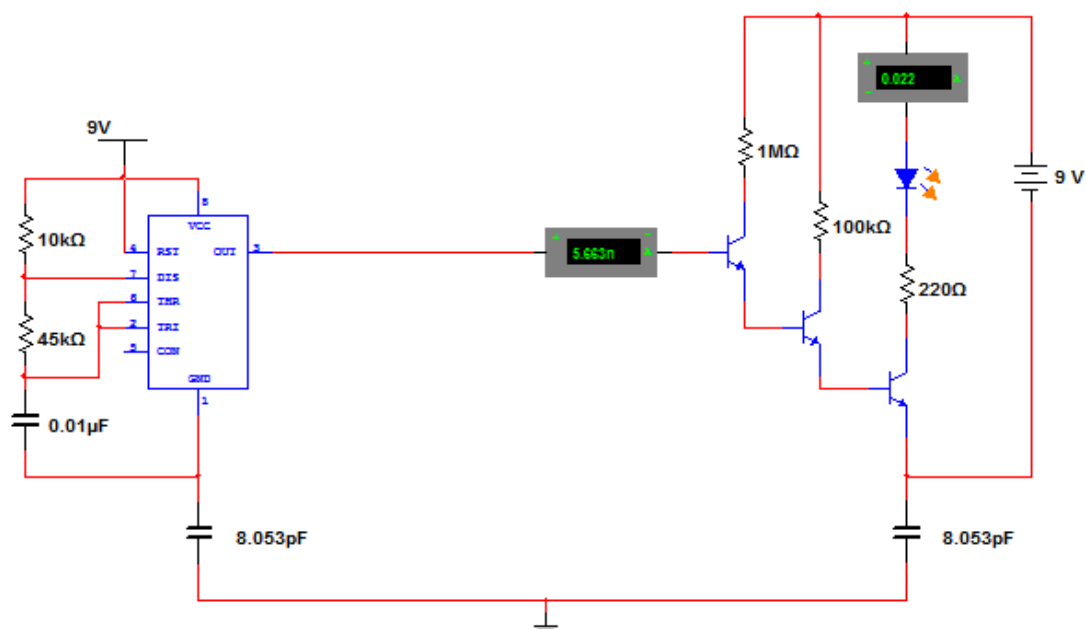
$d$  → Distância entre o fio e o plano equipotencial;

$r_c$  → Raio do condutor.

Arbitrando valores que expressam uma situação simplificada, ou seja, para a distância entre o fio e o plano de terra 1 m e para o raio do condutor de 2 mm , obtém-se aproximadamente:

$$C = \frac{2\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 1}{\cosh^{-1}\left(\frac{1}{2 \cdot 10^{-3}}\right)} = 8,053\text{pF}$$

Em posse deste resultado estimado construiu-se a simulação dos dois circuitos interagindo entre si adicionando o efeito capacitivo acima calculado:



**Figura 24: Detector de continuidade. – Simulação.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Observamos que o circuito funciona porque a corrente que chega ao circuito receptor é da ordem de 5 nA, e que esta amplificada pelos transistores em cascata do circuito receptor chega na ordem de 20 mA ao LED o que é suficiente para acendê-lo de forma visível por meio de suas setas laterais acesas em laranja.

### 3.2 CONCEITOS SOBRE A MONTAGEM

Foram acrescentadas chaves liga-desliga com o propósito de possibilitar economia de energia, uma vez que ambos os circuitos são alimentados por baterias. E também foi acrescentado um LED ao circuito gerador de forma que possibilitasse a comprovação do funcionamento ou não do circuito, ou seja, se a onda está sendo produzida e se esta está chegando à ponteira de saída. Este LED foi inserido paralelamente à ponteira de saída do sinal onde a onda quadrada é gerada e coletada.

Durante os primeiros testes realizados com protótipos de montagens anteriores, notou-se a que a frequência inicialmente escolhida (na faixa de kHz) era percebida pelo LED do receptor, mas não facilitava a percepção humana do

processo, ou seja, não era visível. A partir disso resolveu-se mudá-la para aproximadamente 10 Hz, o que resultou em maior facilidade de percepção visual do funcionamento do circuito. Esta alteração foi baseada no tópico 3.1.1 deste texto, precisamente na figura 20. Sabendo que os valores indicados nas retas desta figura se referem a relação:  $R_a + 2R_b = \text{valor indicado sobre a reta}$  – conforme citado anteriormente no tópico 3.1.1 - com o objetivo de aproximar-se de 10Hz, foi necessário permutar os resistores escolhidos. Pela relação obtém-se:

$$R_a + 2R_b = 1\text{M}\Omega \text{ (reta escolhida para 10Hz)}$$

$$100\text{k}\Omega + 2 \cdot 470\text{k}\Omega = 1,04\text{M}\Omega$$

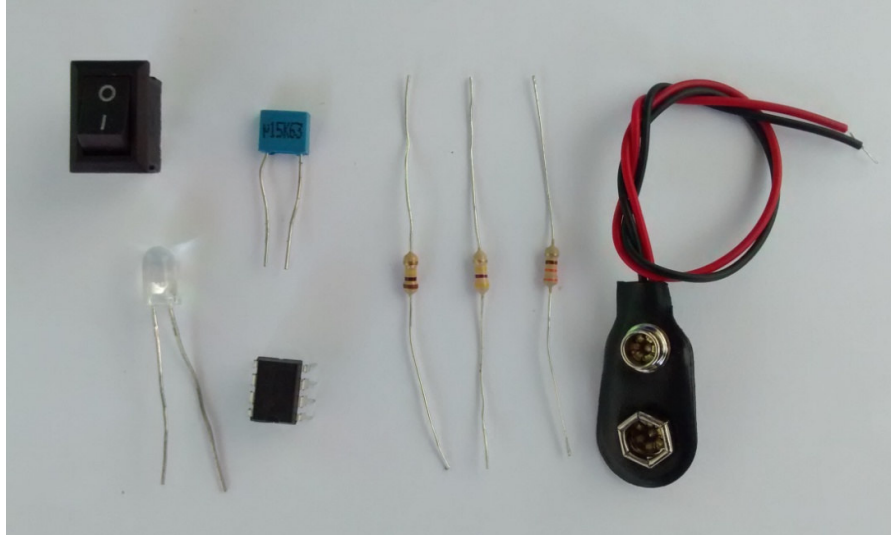
A partir dos valores dos resistores, observando figura 20 tem-se que o capacitor deve ser próximo de  $0,1\mu\text{F}$ . Todavia, por meio de testes empíricos em laboratório, trocando capacitores de outros valores e medindo a frequência de saída, escolheu-se um capacitor de  $0,15\mu\text{F}$ , pois era o capacitor comercial que fornecia a frequência mais próxima de 10Hz.

### 3.3 A LISTA DE COMPONENTES

#### 3.3.1 Circuito Gerador

- ✓ 1 Multivibrador 555
- ✓ 1 Capacitor de  $0,15\mu\text{F}$
- ✓ 1 Resistor de  $470\text{k}\Omega$
- ✓ 1 Resistor de  $100\text{k}\Omega$
- ✓ 1 Resistor de  $330\Omega$
- ✓ 1 LED
- ✓ 1 Caixa de Plástico
- ✓ 1 Chave liga desliga
- ✓ Placa de cobre
- ✓ 5 Parafusos

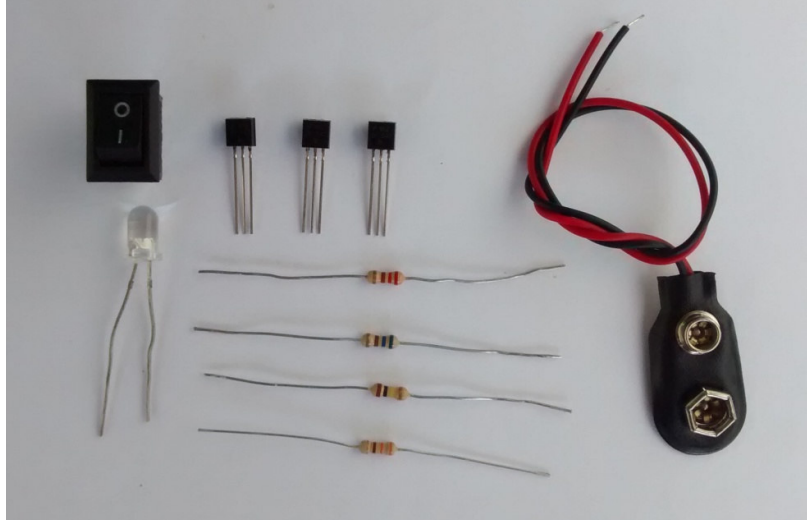




**Figura 25: Alguns componentes do circuito gerador.  
Fonte: Autoria Própria.**

### 3.3.2 Circuito Receptor

- ✓ 3 Transistores BC 547
- ✓ 1 Resistor 1M $\Omega$
- ✓ 1 Resistor de 100k $\Omega$
- ✓ 1 Resistor de 220 $\Omega$
- ✓ 1 Resistor de 330 $\Omega$
- ✓ 1 LED
- ✓ 1 Caixa de Plástico
- ✓ 1 Chave liga desliga
- ✓ Placa de cobre
- ✓ 5 Parafusos



**Figura 26: Alguns componentes do circuito receptor.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

### 3.4 ETAPAS DE MONTAGEM

1. Preparar o formato da placa de cobre. Nesta etapa foi considerado de que maneira seria possível fixar a bateria dentro da caixa de plástico de forma que ela não rolasse por cima do circuito a qualquer movimento. (No caso do receptor, por ter uma carcaça menor, a bateria foi fixada por meio de um arame na tampa)

2. Planejar o circuito na placa de cobre. Como havia componentes com mais de dois pinos se fez necessário pensar no espelhamento das trilhas em relação à superfície sob a qual se encaixam os componentes.

3. Desenhar com a caneta de tinta permanente as trilhas. Tomou-se cuidado com a distância entre os pinos do CI 555 para que encaixasse corretamente na placa.

4. Corroer a placa. Numa solução de percloroeto de ferro foi mantida a placa em movimento para que não se danificassem as trilhas.

5. Remover a tinta de sobre as trilhas. Foi utilizado um pano com álcool para tal etapa.

6. Furar a placa no local onde serão encaixados os componentes. Com o auxílio de uma minifuradeira foram feitos os furos.

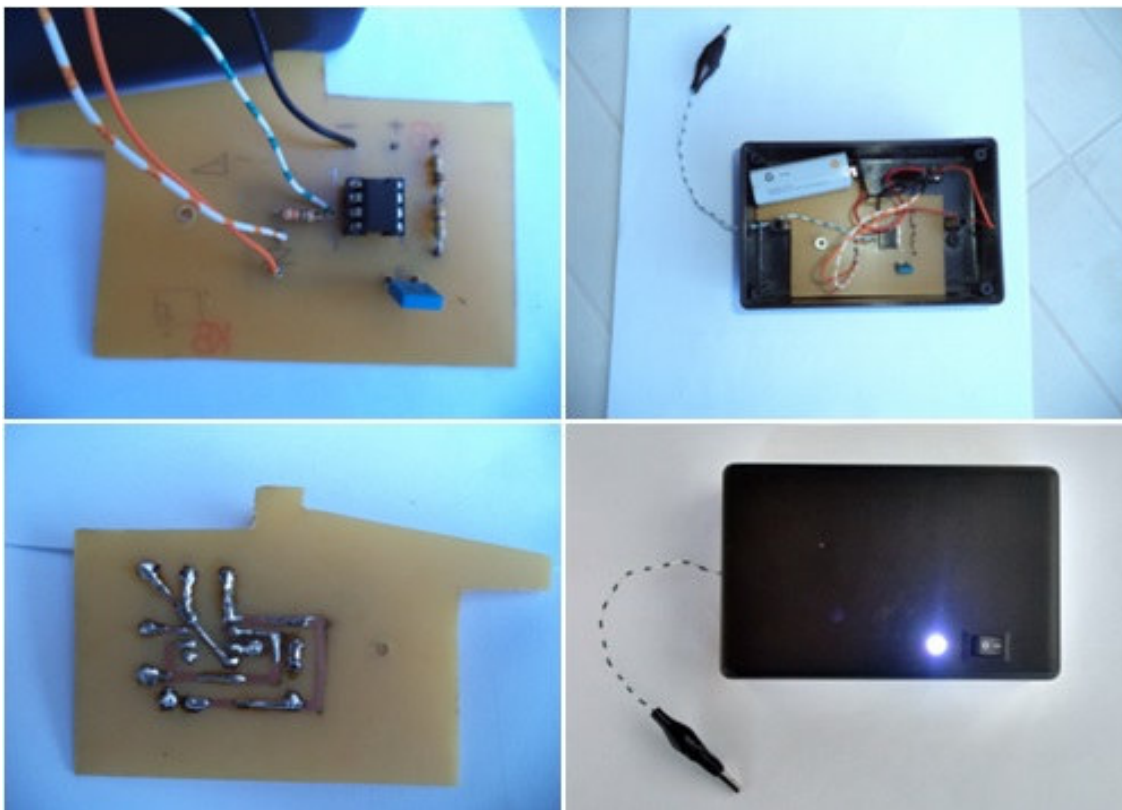
7. Soldar os componentes.

8. Preparar a caixa de plástico fazendo os furos para o LED e para a chave liga desliga.

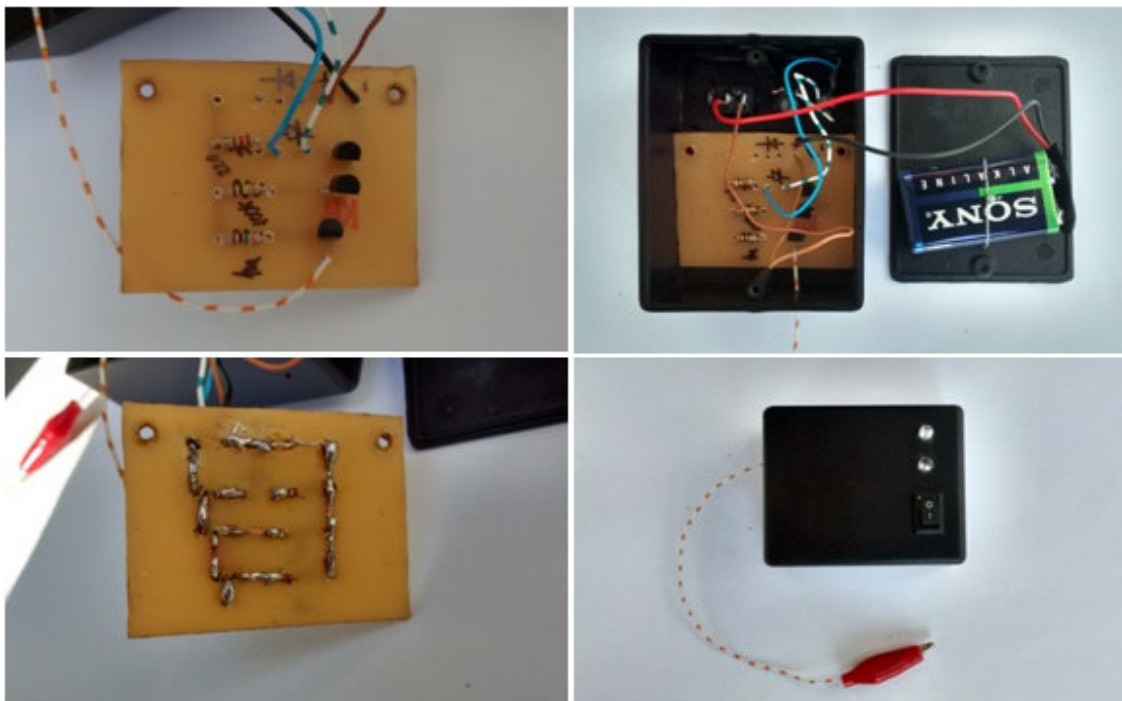
9. Ligar o LED e a chave liga desliga no circuito da placa, bem como os fios do conector da bateria colocando a chave em série com o positivo da bateria.

10. Colocar a bateria e prender a placa do circuito na caixa com um parafuso. (No caso do receptor, a placa com o circuito ficou justa no fundo da caixa de forma que não foi preciso prendê-la com um parafuso).

11. Fechar a caixa e aparafusar os cantos do fundo.



**Figura 27: Resultado da montagem - circuito gerador.**  
**Fonte: Autoria Própria.**



**Figura 28: Resultado da montagem - circuito receptor.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

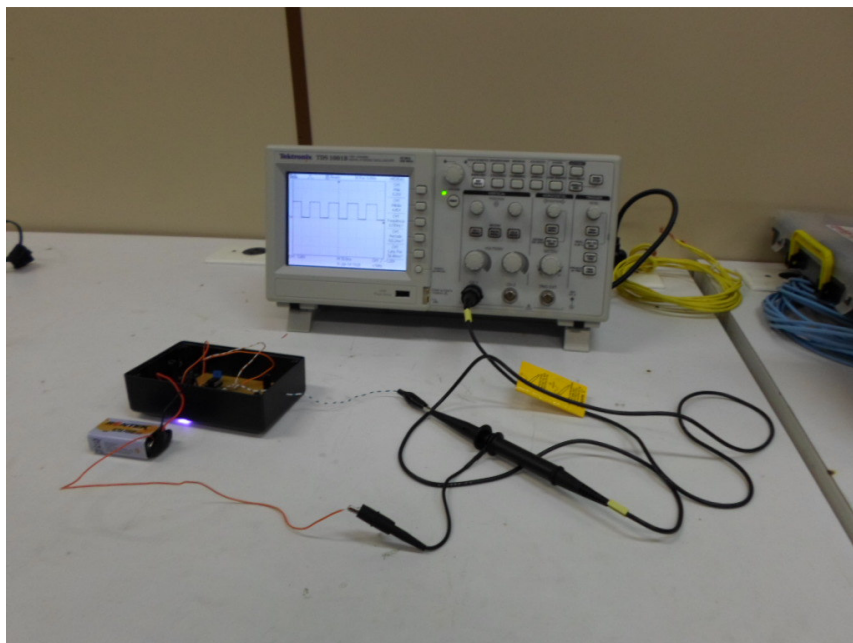
## 4. RESULTADOS

Após a montagem, iniciaram-se os testes a fim de verificar o funcionamento e as limitações do sistema operando na prática. Para tanto, foram utilizados osciloscópios digitais. Em meio à realização de testes, verificou-se a sensibilidade do circuito receptor ao osciloscópio alimentado pela rede, pois este, por estar em paralelo com a rede, interfere no funcionamento do circuito receptor que é sensível a cargas da ordem de mV. Por este motivo, foi utilizado também o osciloscópio digital alimentado por bateria a fim de amenizar este erro de medição.

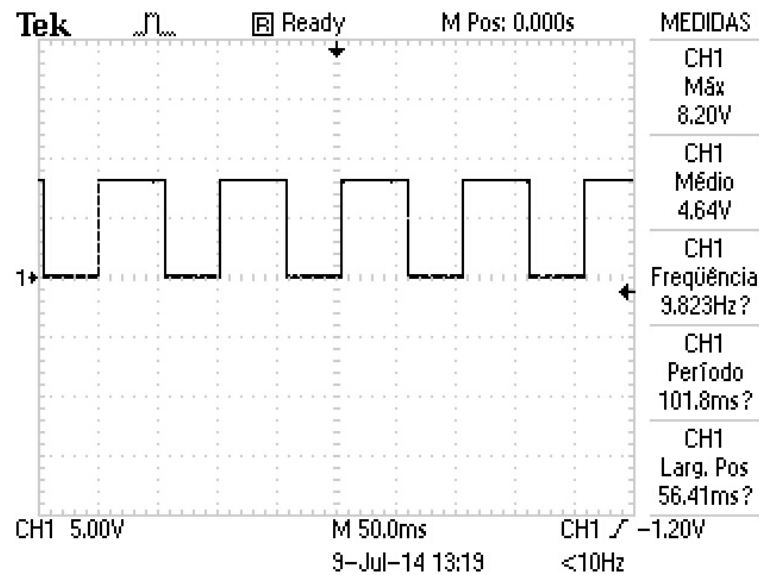
### 4.1 PARÂMETROS DE FUNCIONAMENTO

#### 4.1.1 Circuito Gerador

Primeiramente, com o auxílio de um osciloscópio digital – alimentado pela rede - e utilizando uma bateria nova de 9 V para alimentar o circuito gerador, foi medida a sua saída conectando o terra da bateria à referência do osciloscópio como demonstrado na figura 29.



**Figura 29: Medição de tensão na saída do gerador - com referência.**  
Fonte: Autoria Própria.



**Gráfico 1: Saída do circuito gerador – com referência.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Como se pode conferir na imagem do osciloscópio (modelo: TPS2024) a amplitude máxima gerada pelo 555 é de 8,2V. Pode-se notar também que a frequência da onda quadrada é 9,823Hz, devido ao fato de que os resistores comerciais diferem um pouco dos resistores inicialmente projetados.

Em seguida, utilizando um osciloscópio digital (modelo TDS1001B) – alimentado por bateria – foi medida a saída do gerador deixando a referência em aberto, ou seja, sem conectar a ponteira de referência do osciloscópio ao terra da bateria, deixando-a isolada do circuito como mostra a figura 30 abaixo.

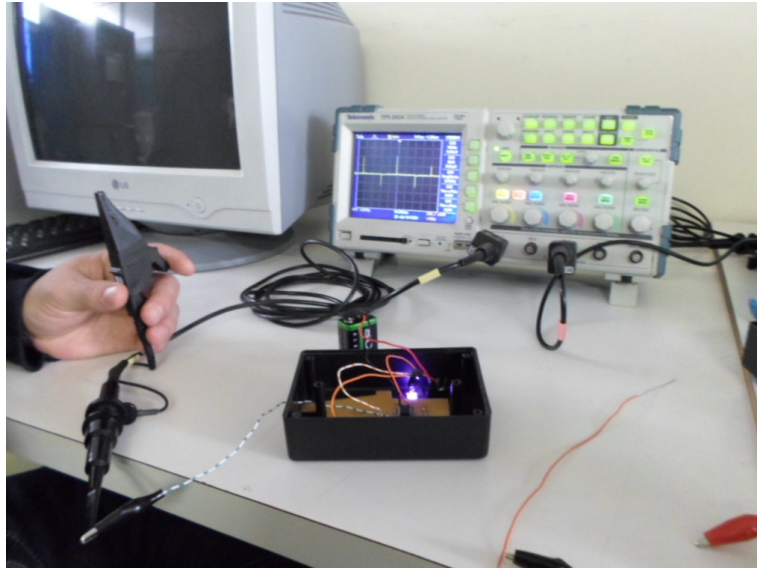


Figura 30: Medição de tensão na saída do gerador - sem referência.

Realizando os testes com esta configuração temos a seguinte onda enxergada pelo osciloscópio:

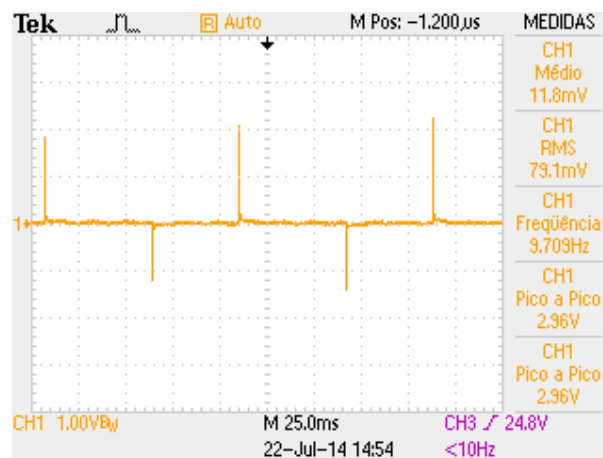


Gráfico 2: Saída do gerador - sem referência.  
Fonte: Autoria Própria.

Observando a aquisição do osciloscópio, pode-se concluir que a onda percebida não é quadrada como a medida com o terra do circuito ligado a referência do osciloscópio, mas apresenta pulsos elétricos com amplitude de aproximadamente 2V e a frequência de 9,709Hz. Por meio destes pulsos, pode-se afirmar que, mesmo desconsiderando a referência da bateria, a saída do gerador por si só impõe uma variação de potencial elétrico. Esta variação de potencial gera uma variação de

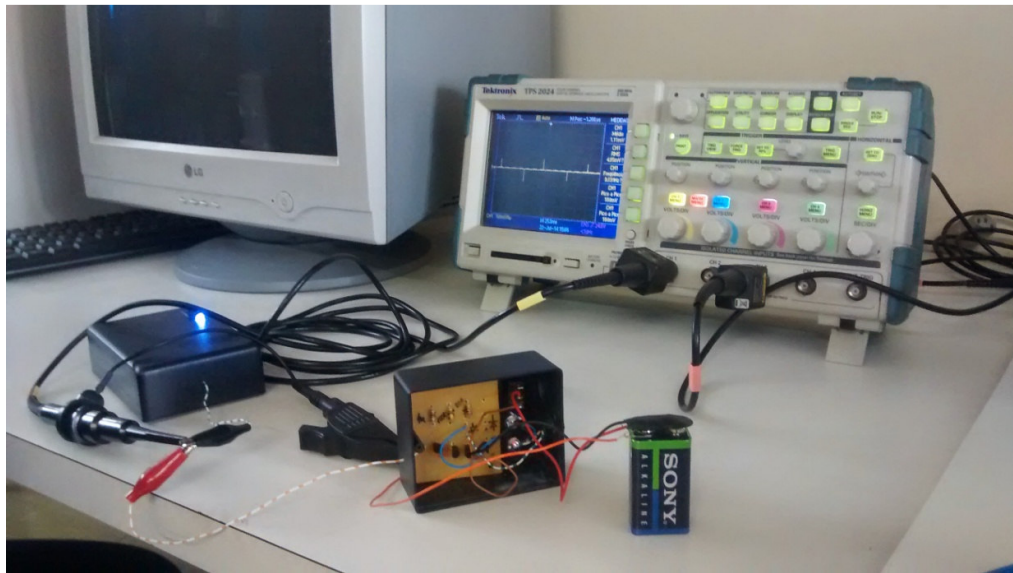


campo elétrico que vai garantir a existência de uma corrente de deslocamento como comentado no tópico 2.3 deste texto. E a corrente de deslocamento, por sua vez, vai ser responsável pela comunicação entre os dois circuitos o que garante o funcionamento do sistema.

#### 4.1.2 Circuito Receptor

Para medir os parâmetros de funcionamento do circuito receptor, utilizou-se uma bateria nova de 9V (9,53V medidos com um multímetro – modelo MD 1301) e um osciloscópio digital alimentado por bateria.

Inicialmente foi medido o sinal captado pela ponteira do receptor enquanto este estava ligado ao gerador. A referência da ponteira do osciloscópio foi conectada ao terra da bateria do receptor (figura 31).

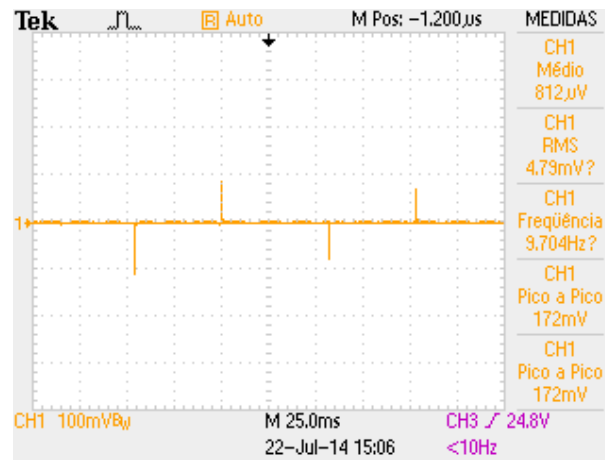


**Figura 31: Medição de tensão na entrada do receptor - com referência. Fonte: Autoria Própria.**

Com esta configuração foi obtido o gráfico 3 a partir do qual se percebe que a onda capturada tem as mesmas características da onda demonstrada no gráfico 2, pois apresenta picos semelhantes, positivos e negativos, com a mesma frequência, porém a amplitude é menor chegando a faixa de 100mV.

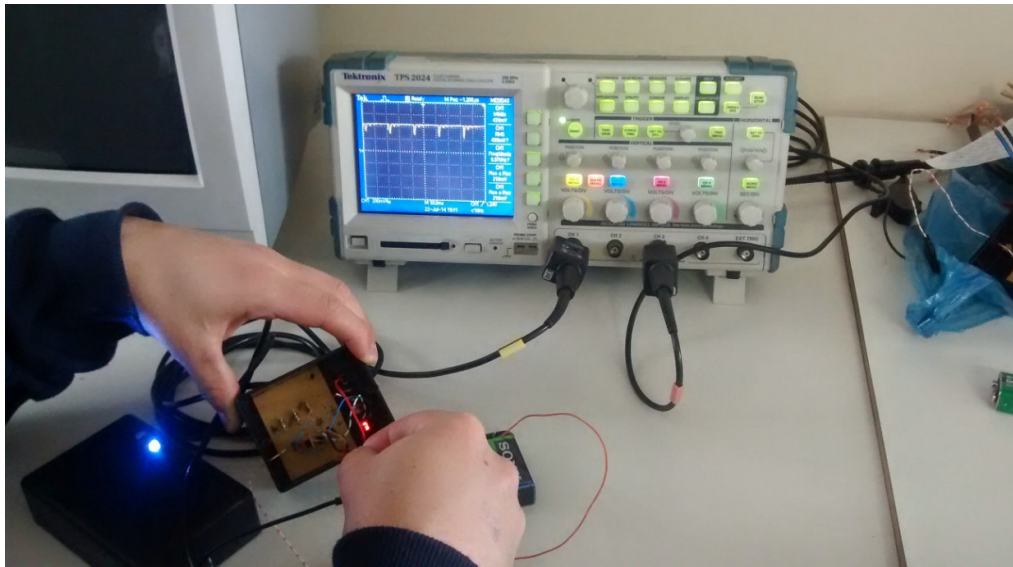


É importante citar que durante esta medição o LED do receptor piscava visivelmente na mesma frequência que o LED do gerador.



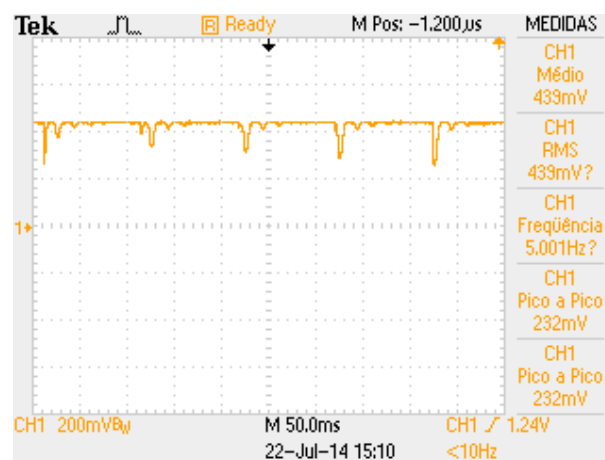
**Gráfico 3: Medição de tensão na entrada do receptor - com referência.**  
Fonte: Autoria Própria.

Em seguida foi realizada a medida da onda percebida pelo LED do receptor. Nesta medição, a referência do osciloscópio permaneceu conectada ao terra da bateria do circuito receptor.



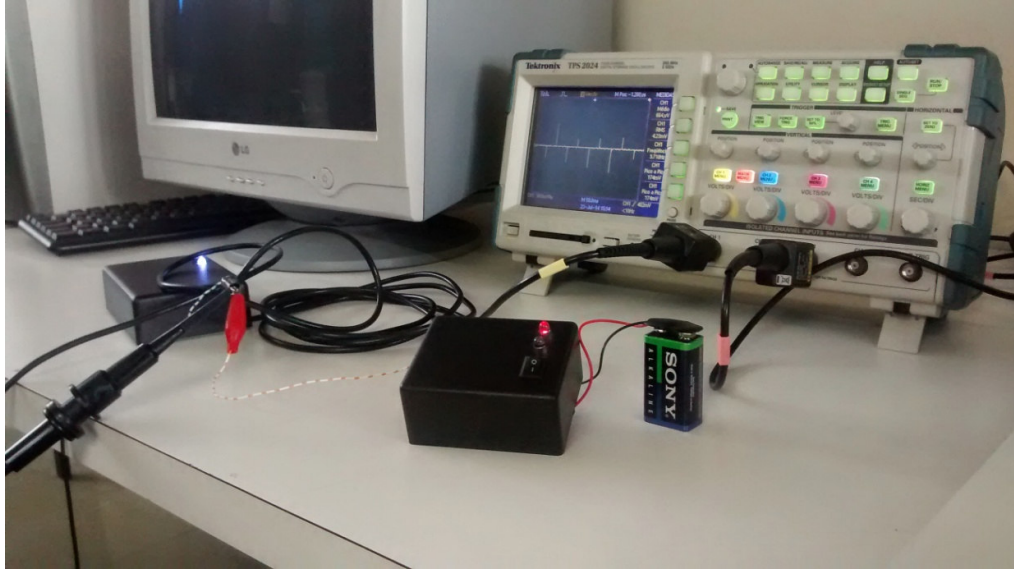
**Figura 32: Medição de tensão no LED do receptor - com referência.**  
Fonte: Autoria Própria.

Observando o gráfico 4, vê-se a onda responsável pelo piscar do LED, pois há uma tensão mantida com pequenos vales, nos quais o LED diminui seu brilho de forma visível. Por meio da observação da incidência dos vales pode-se concluir que, com o osciloscópio configurado em 50ms por divisão, entre um vale e outro há um período de aproximadamente 100ms, o que remete a frequência na faixa de 10 Hz. Muito embora a frequência medida pelo osciloscópio tenha marcado 5,001Hz, supõe-se que esta medida se baseia no fato de a onda coletada não possuir uma simetria perfeita, mas um padrão de repetições semelhantes.

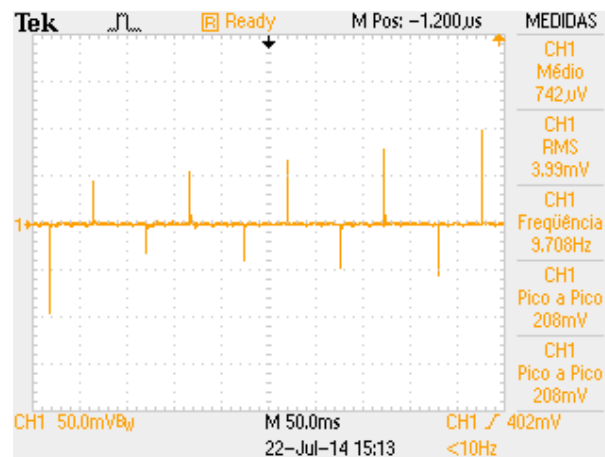


**Gráfico 4: Tensão no LED do receptor - com referência.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Foram ainda realizadas as duas medições anteriores – ponteira do receptor e o LED – sem ter a referência do osciloscópio conectada ao terra da bateria do receptor.



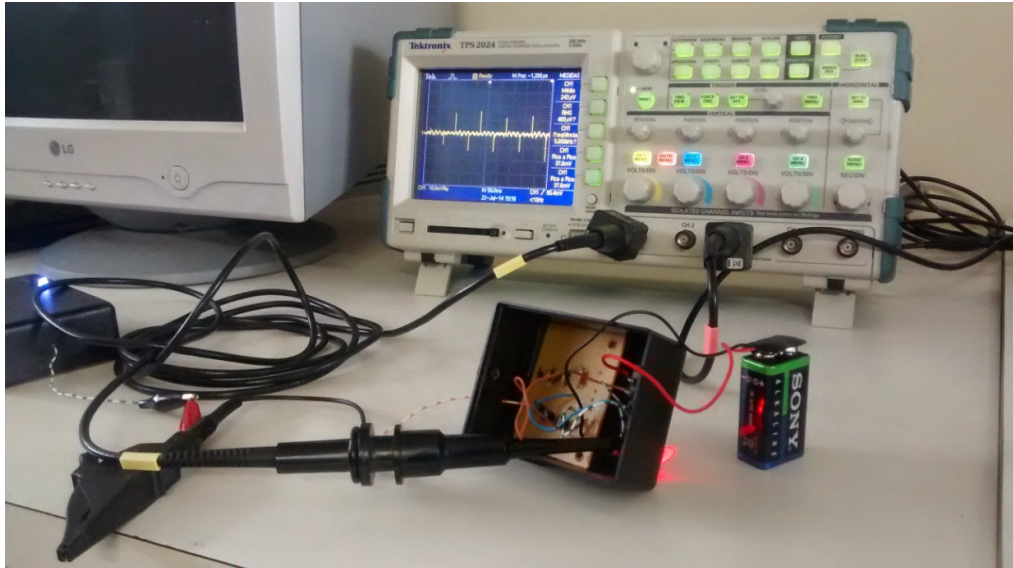
**Figura 33: Medição de tensão na entrada do receptor - sem referência.**  
**Fonte: Autoria Própria.**



**Gráfico 5: Entrada do receptor - sem referência.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

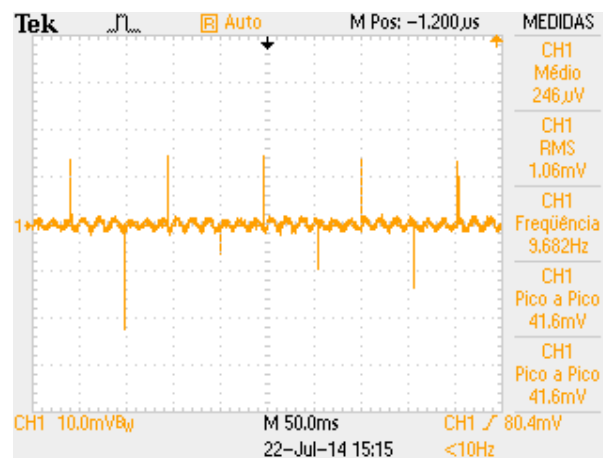
Semelhantemente ao gráfico 2 e o gráfico 3 a medição da ponteira do receptor, ignorando a referência, também apresentou picos positivos e negativos com amplitude variável numa faixa de 100 mV, e a frequência também foi captada na faixa de 9,708Hz.

Da mesma forma, a medição da tensão sobre o LED do receptor medida sem levar em conta a referência da bateria pode ser conferida na figura 34.



**Figura 34: Medição de tensão no LED do receptor - sem referência.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

O gráfico obtido nesta etapa foi diferente do gráfico 4, apresentando muita semelhança com os outros gráficos obtidos anteriormente, com exceção do gráfico 1.



**Gráfico 6: Tensão no LED do receptor - sem referência.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Por outro lado os picos de tensão são muito menores com o máximo tendo por volta de 20% da tensão máxima medida na ponteira do receptor (gráfico 5).

## 4.2 TESTES REALIZADOS

Realizou-se uma série de testes cuja finalidade foi verificar as limitações do sistema de detecção de continuidade. Também foram feitos alguns arranjos na disposição dos condutores, a fim de verificar os impactos eletromagnéticos em determinadas situações, como: condutores próximos esticados ou enrolados, fios trançados, etc.

Sabendo que os condutores apresentam continuidade elétrica, os testes realizados tiveram como objetivo analisar de que maneira o sistema detecta esta continuidade, ou seja, como o conjunto dos dois circuitos, através da propagação do sinal, comprova a continuidade. Essa comprovação se deu de duas formas: visualmente, ou seja, observando se o LED do circuito receptor pisca na frequência fornecida pelo gerador; e verificando se há alguma relação entre os sinais elétricos adquiridos no receptor e a forma de onda do gerador. O sinal medido no osciloscópio foi coletado entre o pino positivo do LED e o terra da bateria do receptor.

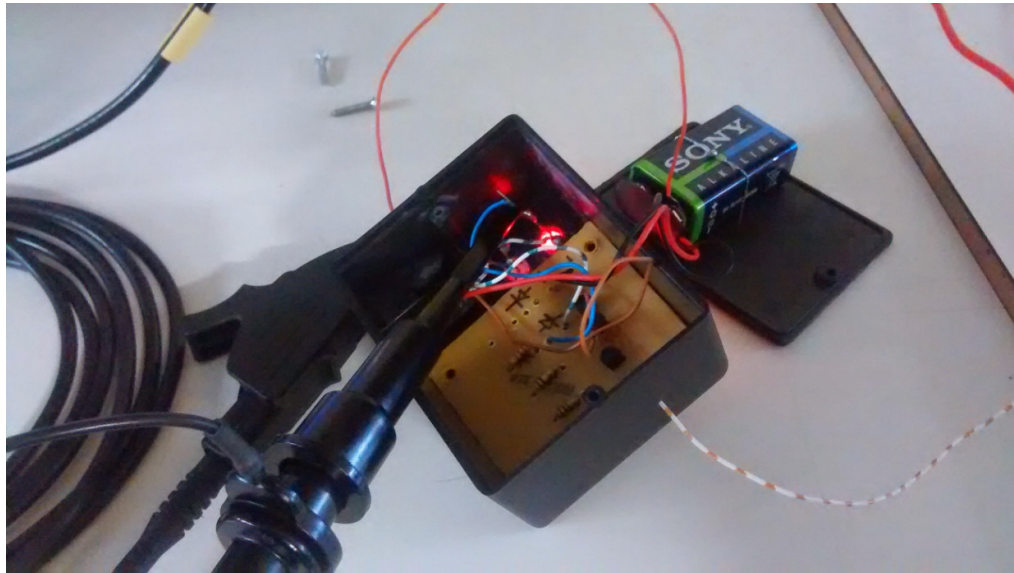
### 4.2.1 Teste em cabo de 10 metros flexível - bitola 1,5mm<sup>2</sup>

Para realização deste teste foram consideradas duas formas de medir: o cabo enrolado e o cabo esticado. Primeiro o teste foi realizado com o cabo enrolado.



**Figura 35: Cabo de 10m enrolado.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Para tanto foram conectados ambos os circuitos ligados, cada qual em uma das extremidades do condutor. A fim de captar a forma de onda de tensão no circuito receptor foi conectada a ponteira do osciloscópio digital no LED e o terra da bateria do receptor na referência do osciloscópio, conforme pode-se observar na figura 36.

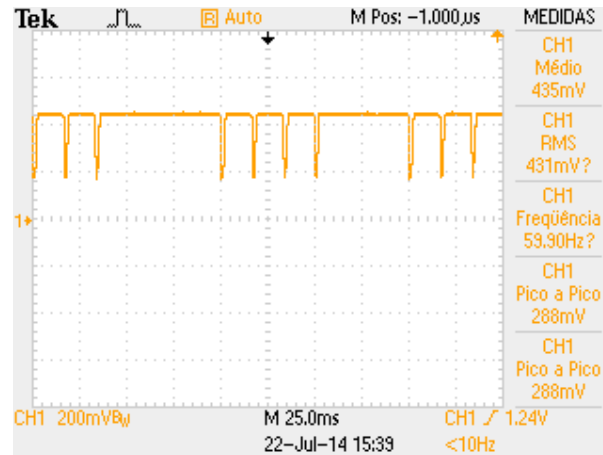


**Figura 36: Medição de tensão no LED do receptor e terra da bateria.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

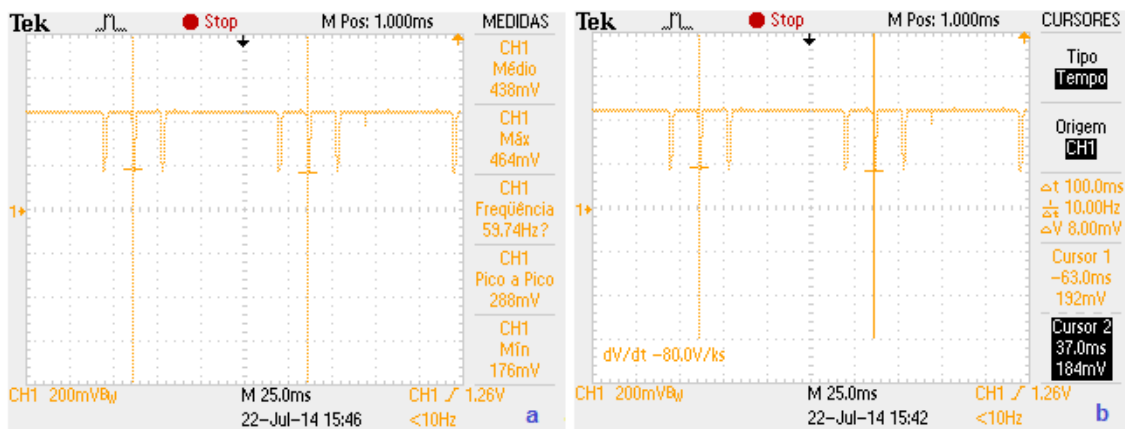
Foi possível constatar, visualmente, a continuidade do condutor, pois o LED do receptor piscou na mesma frequência do circuito gerador.

Com o auxílio do osciloscópio digital, foi realizada a aquisição de sinal percebido pelo LED durante o teste. O sinal percebido pelo LED é variável, não apresentando uma forma de onda perfeitamente simétrica (gráfico 7), porém pode-se perceber que apresenta um padrão de repetição. Analisando este padrão com o recurso de cursores do osciloscópio pôde-se estimar que a frequência do sinal que chega ao receptor é de 10 Hz como mostra o gráfico 8b.





**Gráfico 7: Tensão entre LED do receptor e terra da bateria - cabo de 10m enrolado, constatação da assimetria da onda.**  
**Fonte: Autoria Própria.**



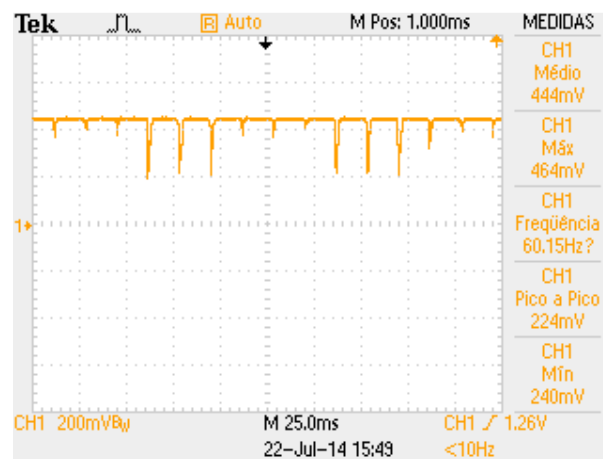
**Gráfico 8: Tensão entre LED do receptor e terra da bateria - cabo de 10m enrolado.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Foi realizado o mesmo teste ainda com o cabo de 10m, porém este foi esticado para observar se havia diferença entre os resultados (figura 37).



**Figura 37: Medição de tensão no cabo de 10m esticado.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Após esta mudança, o sinal percebido visualmente (pisca do LED do receptor) foi igual ao teste com o cabo enrolado. Entretanto a onda capturada pelo osciloscópio (gráfico 9) foi levemente diferente apresentando pequenos vales a mais, se em comparação com a onda capturada no cabo enrolado.



**Gráfico 9: Tensão entre o LED do receptor e terra da bateria - cabo de 10m esticado.**  
**Fonte: Autoria Própria.**



#### 4.2.2 Teste em dois cabos de 1 metro flexíveis - bitola 1,5mm<sup>2</sup>

Para estes testes com os cabos de 1 metro o circuito gerador foi conectado a uma das extremidades de um dos condutores e nesta condição permaneceu até o final destes testes.

No quadro 2: metodologias adotadas para medição do par de cabos de 1 metro.

**fonte: autoria própria.**

abaixo estão relacionadas as metodologias utilizadas para realizar os testes, bem como a qual cabo o circuito receptor foi conectado em cada etapa. Por meio da coluna “situação” serão abaixo detalhadas as condições das medições.

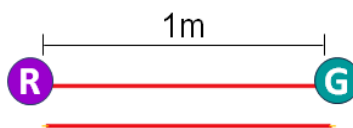
Cabos	Metodologia	Status da ponteira do receptor	Situação
Par de 1m	Paralelos	Cabo conectado ao gerador	A
		Cabo não conectado ao gerador	B
	Trançados	Cabo conectado ao gerador	C
		Cabo não conectado ao gerador	D

**Quadro 2: Metodologias adotadas para medição do par de cabos de 1 metro.**

**Fonte: Autoria Própria.**

A fim de facilitar o entendimento de todas as situações, serão representados, além das fotos, figuras ilustrativas que mostram onde estão conectados os circuitos gerador e receptor. Na bolinha “R”

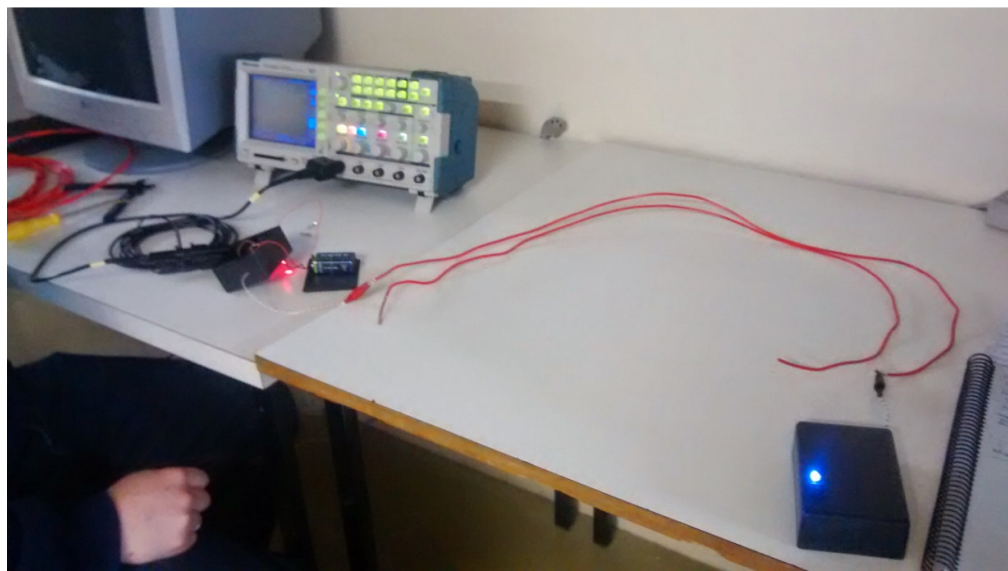
Situação A



**Figura 38: Situação A.**

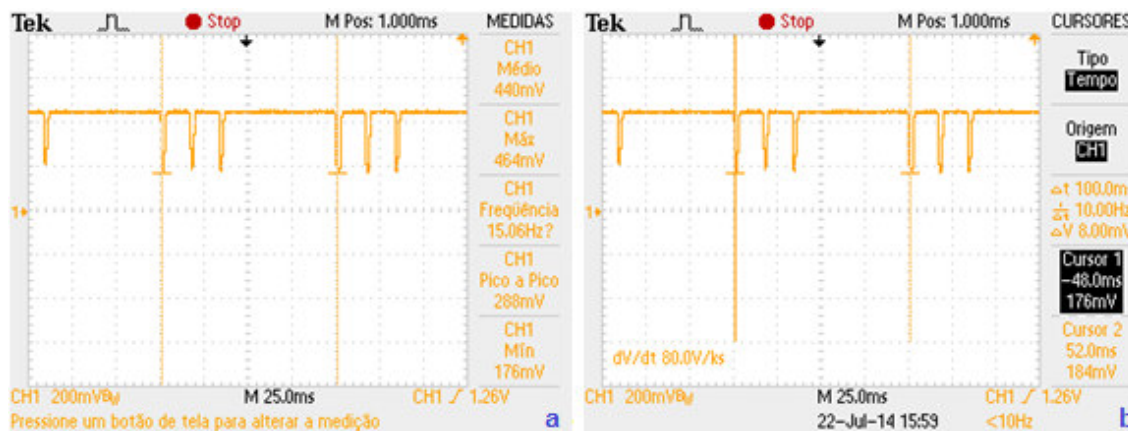
**Fonte: Autoria Própria.**

Na situação A mostrada na figura 39 pode-se perceber que o circuito receptor está conectado ao mesmo cabo que o circuito gerador.



**Figura 39: Medição de tensão no par de 1 metro – situação A.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

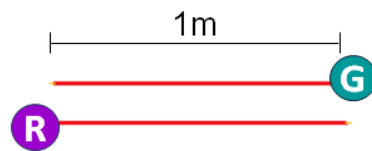
Nesta situação foi coletada a seguinte forma de onda demonstrada no gráfico 10.



**Gráfico 10: Medição de tensão nos cabos de 1 metro paralelos - situação A.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

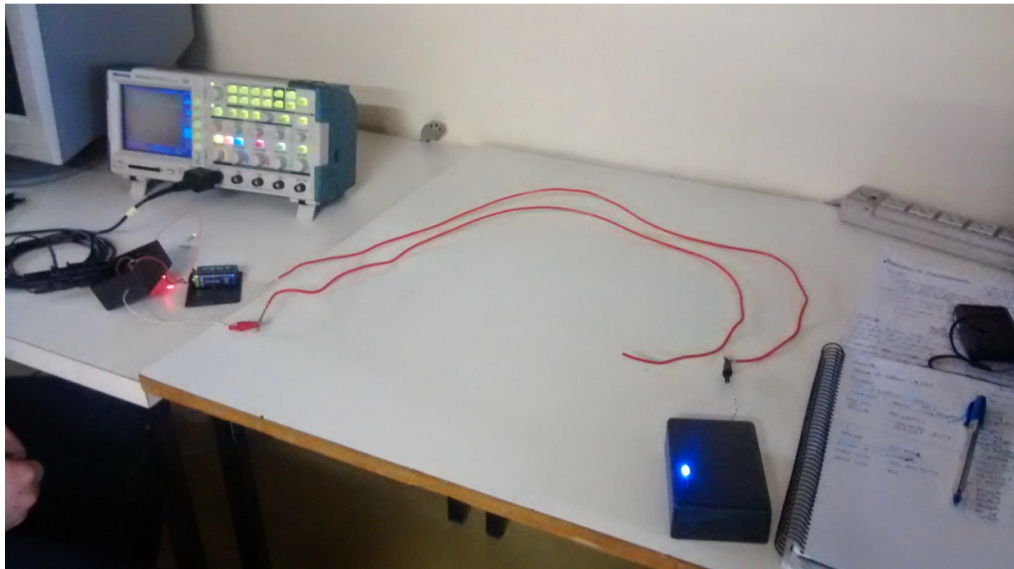
Nota-se que a onda coletada possui um padrão de repetições muito semelhante ao gráfico 8 no caso do cabo de 10m enrolado. Repetições estas que se interceptadas pelos cursores do osciloscópio (gráfico 10b) torna-se possível medir uma frequência de 10 Hz percebida pelo LED.

Situação B



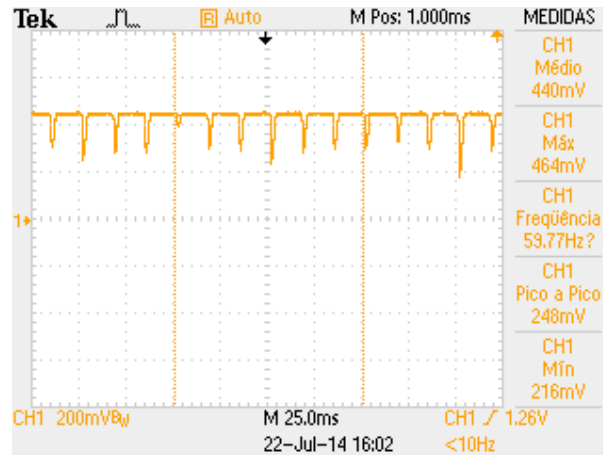
**Figura 40: Situação B.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Segue abaixo a situação B demonstrada na figura 41.



**Figura 41: Medição de tensão no par de 1 metro - situação B.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

O gráfico 11 foi capturado nesta situação.

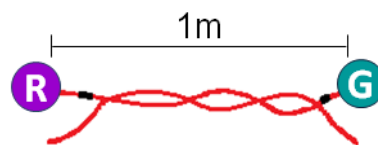


**Gráfico 11: Medição de tensão nos cabos de 1 metro paralelos situação B.**

**Fonte: Autoria Própria.**

Durante a realização dos testes verificou-se que para ambos os casos o LED piscava na mesma frequência que o circuito gerador, embora de forma menos intensa na situação B do que na situação A. Com relação as aquisições do osciloscópio digital pode-se notar uma diferença mais nítida na recepção dos sinais elétricos. No gráfico 10 a variação da onda apresenta vales isolados em períodos repetitivos, diferente do gráfico 11 no qual há maior incidência de vales.

Situação C



**Figura 42: Situação C.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Com o auxílio de uma fita isolante foram discriminadas as extremidades de um mesmo cabo de tal forma que a figura 43 mostra a situação C onde o gerador e o receptor estão conectados a um mesmo cabo.

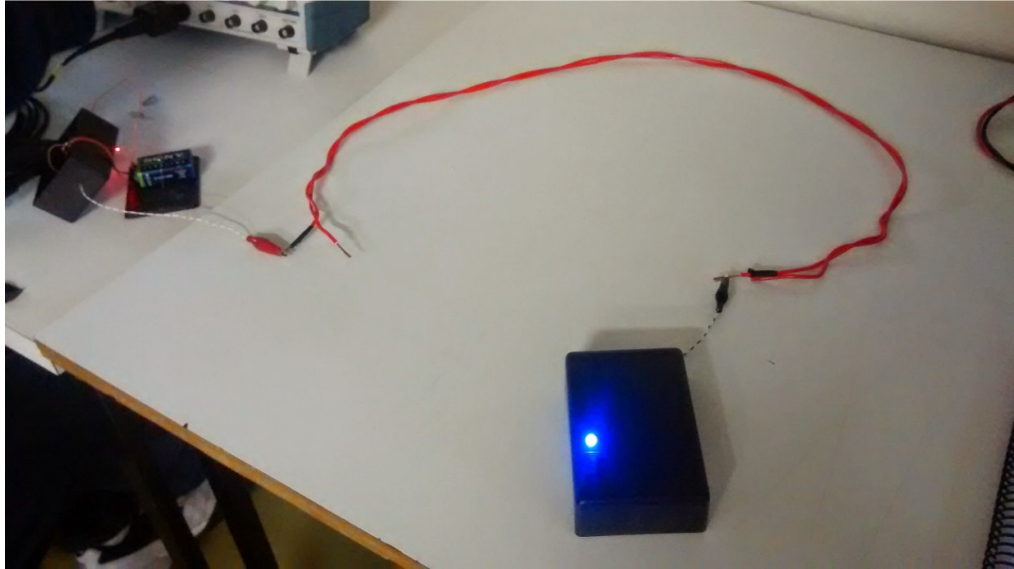


Figura 43: Medição de tensão no par de 1 metro - situação C.  
Fonte: Autoria Própria.

Para esta situação foi coletado o gráfico 12.

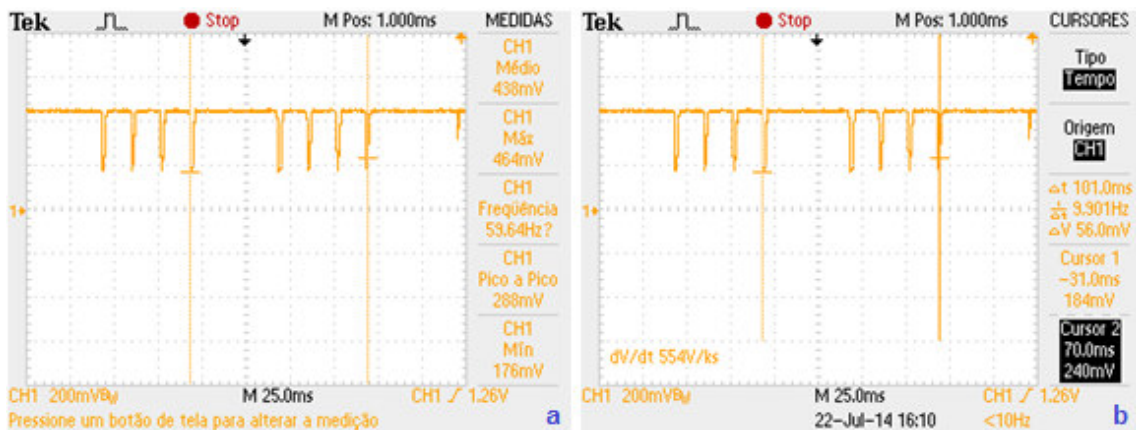


Gráfico 12: Medição de tensão nos cabos de 1 metro trançados - situação C.  
Fonte: Autoria Própria.

Para este teste percebe-se que a onda é muito semelhante a onda captada na situação A e também no teste realizado com o cabo de 10m enrolado. A continuidade é constatada e a frequência do sinal recebido pode ser medida por meio dos cursores de tempo (gráfico 12b), 9,901Hz, devido a repetição de vales no sinal coletado.



Situação D

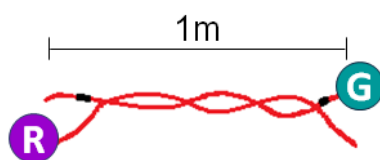


Figura 44: Situação D.  
Fonte: Autoria Própria.

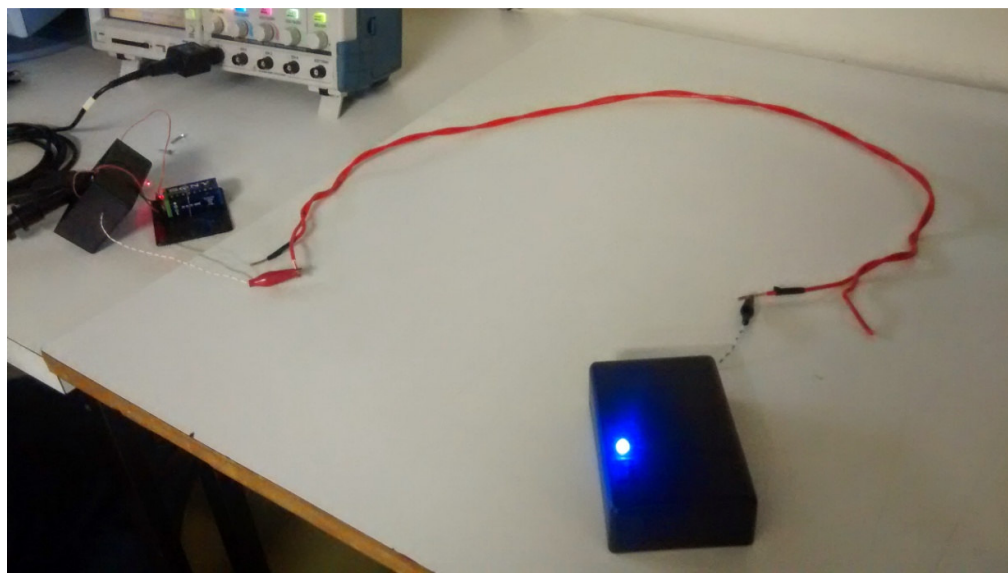


Figura 45: Medição de tensão no par de 1 metro - situação D.  
Fonte: Autoria Própria.

Para a situação D foram coletadas as seguintes formas de onda.

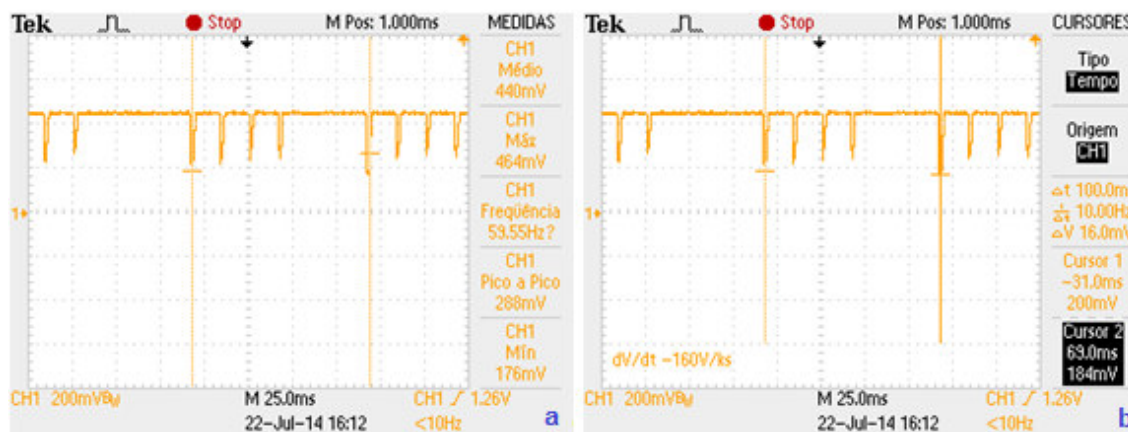


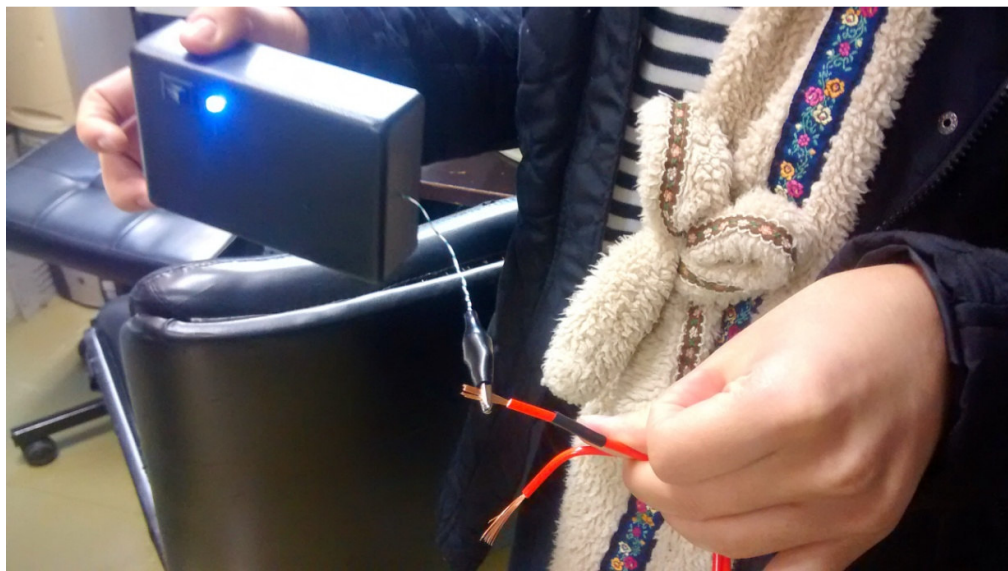
Gráfico 13: Medição de tensão nos cabos de 1 metro trançados- situação D.  
Fonte: Autoria Própria.

Tendo em vista o resultado das situações A e B esperava-se um fenômeno aproximadamente igual para cabos trançados, porém devido a proximidade dos condutores, a diferença entre a situação C e D foi imperceptível. Por isso supõe-se que há uma maior indução eletromagnética entre os cabos quando trançados do que quando paralelos.

Visualmente a situação C e a situação D são iguais, o LED pisca de forma igual para as duas situações.

#### 4.2.3 Teste em dois cabos de 5 metros flexíveis – bitola 1,5mm<sup>2</sup>

Assim como nas medições realizadas com os cabos de 1 metro, durante os testes realizados com os cabos de 5 metros, o circuito gerador foi conectado à extremidade de um cabo e assim permaneceu até o término dos procedimentos das etapas executadas.



**Figura 46: Circuito gerador conectado a extremidade de um dos cabos.  
Fonte: Autoria Própria.**

No quadro 3: metodologias adotadas para medição do par de cabos de 5 metros.

**fonte: autoria própria.**

a seguir são enunciadas as diferentes situações a que foram submetidos os cabos de 5 metros, e também em qual cabo o circuito receptor foi conectado em cada situação.

Cabos	Metodologia		Status da ponteira do receptor	Situação
5/5m	Paralelos	Enrolados	Cabo conectado ao gerador	E
			Cabo não conectado ao gerador	F
		Esticado	Cabo conectado ao gerador	G
			Cabo não conectado ao gerador	H
	Trançados	Esticado	Cabo conectado ao gerador	I
			Cabo não conectado ao gerador	J

**Quadro 3: Metodologias adotadas para medição do par de cabos de 5 metros.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Os testes para os cabos de 5 metros trançados enrolados não foram realizados, pois se acredita que os resultados seriam muito semelhantes aos cabos trançados esticados, tendo em vista os resultados dos cabos trançados de 1 metro (situação C e D).

#### Situação E

Neste arranjo, os cabos foram esticados lado a lado e em seguida enrolados juntos conforme ilustrado na figura 47. Um detalhe para melhor identificação do condutor foi a fita isolante nas extremidades do mesmo condutor.





Figura 47: Medição de tensão no par de 5 metros - situação E.  
Fonte: Autoria Própria.

Segue abaixo o gráfico 14 coletado nesta etapa.

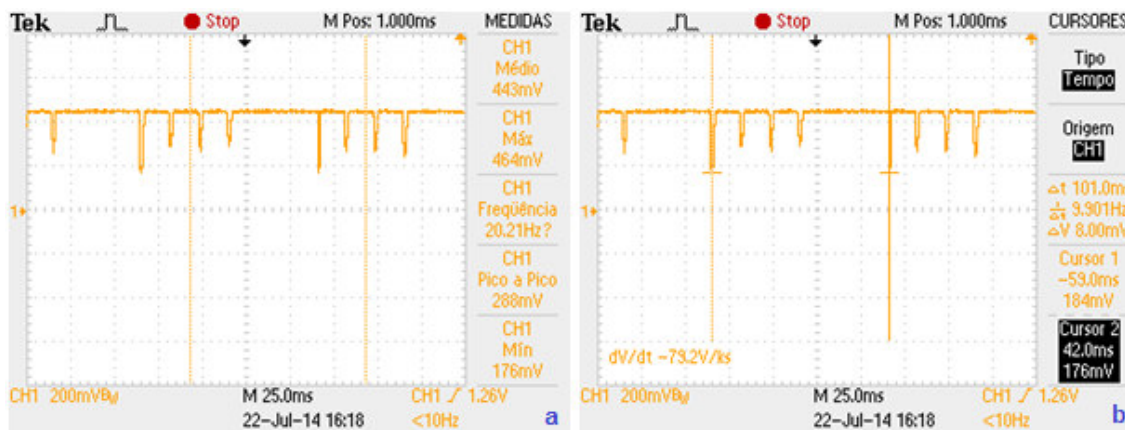
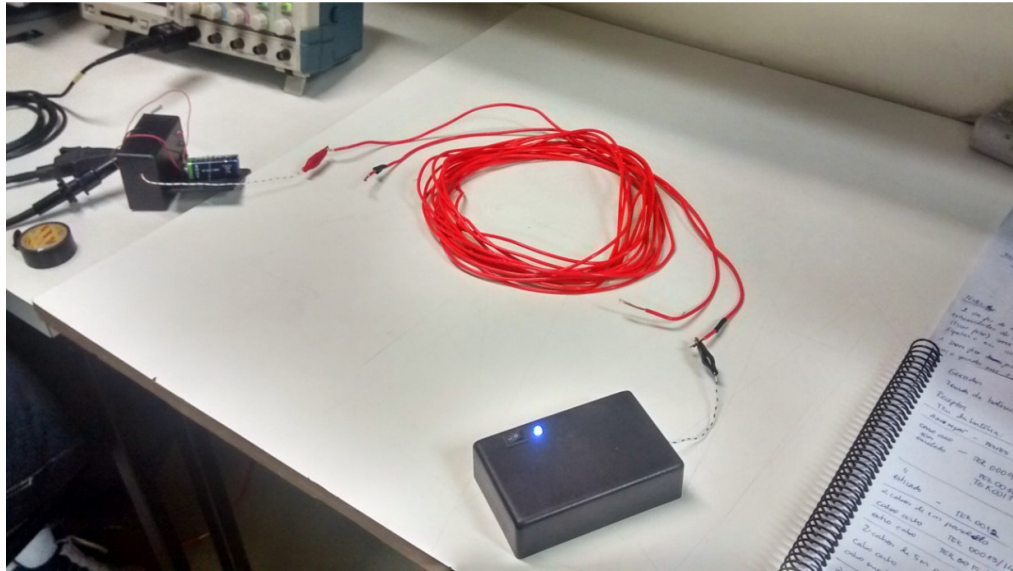


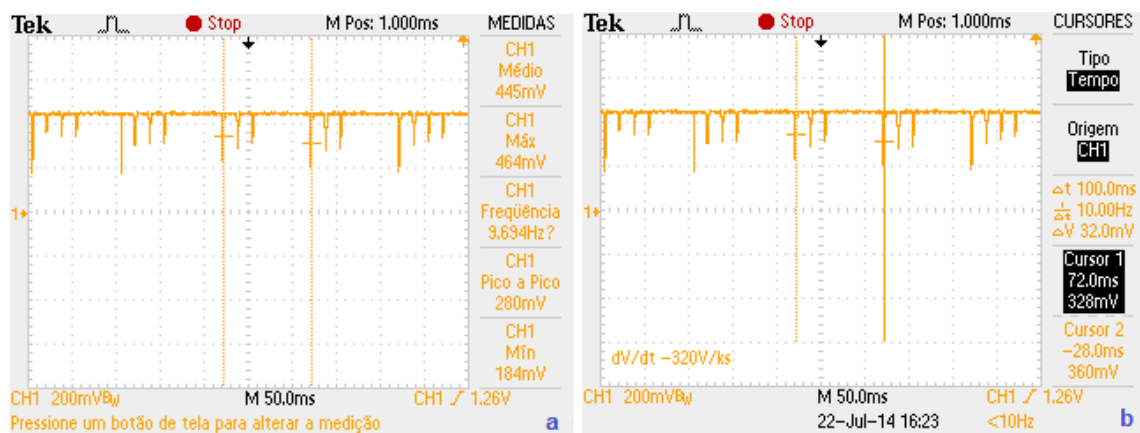
Gráfico 14: Medição de tensão nos cabos de 5 metros paralelos e enrolados - situação E.  
Fonte: Autoria Própria.

Novamente a onda medida é muito semelhante às situações onde é constatada a continuidade elétrica (gráfico 8 e gráfico 10), ou seja, quando o receptor é conectado no mesmo cabo que o gerador. Com os ajustes dos cursores mediu-se a frequência do ciclo e obteve-se 9,901Hz, frequência fornecida pelo gerador.

Situação F



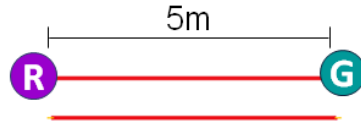
**Figura 48: Medição de tensão no par de 5 metros - situação F.**  
**Fonte: Autoria Própria.**



**Gráfico 15: Medição de tensão nos cabos de 5 metros paralelos enrolados - situação F.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Conforme é mostrado na figura 48 e no gráfico 15 o circuito receptor indica uma onda muito semelhante, senão igual à da onda encontrada na situação E, pois a diferença nas aquisições se dá no parâmetro tempo/divisão. Para as duas situações (E e F) o LED piscou de igual maneira.

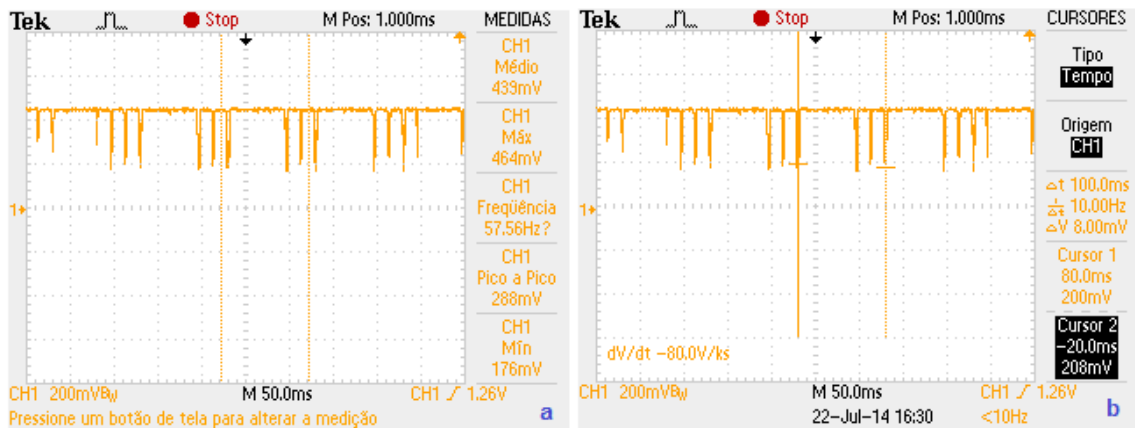
Situação G



**Figura 49: Situação G.**  
**Fonte: Autoria Própria.**



**Figura 50: Medição de tensão no par de 5 metros - situação G.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

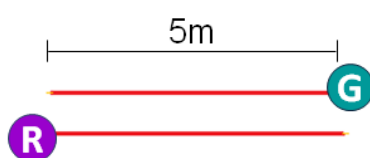


**Gráfico 16: Medição de tensão nos cabos de 5 metros paralelos esticados - situação G.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Nesta etapa medindo a tensão no mesmo cabo conectado ao gerador obteve-se o gráfico 16, que apresenta de novo a forma de onda característica do

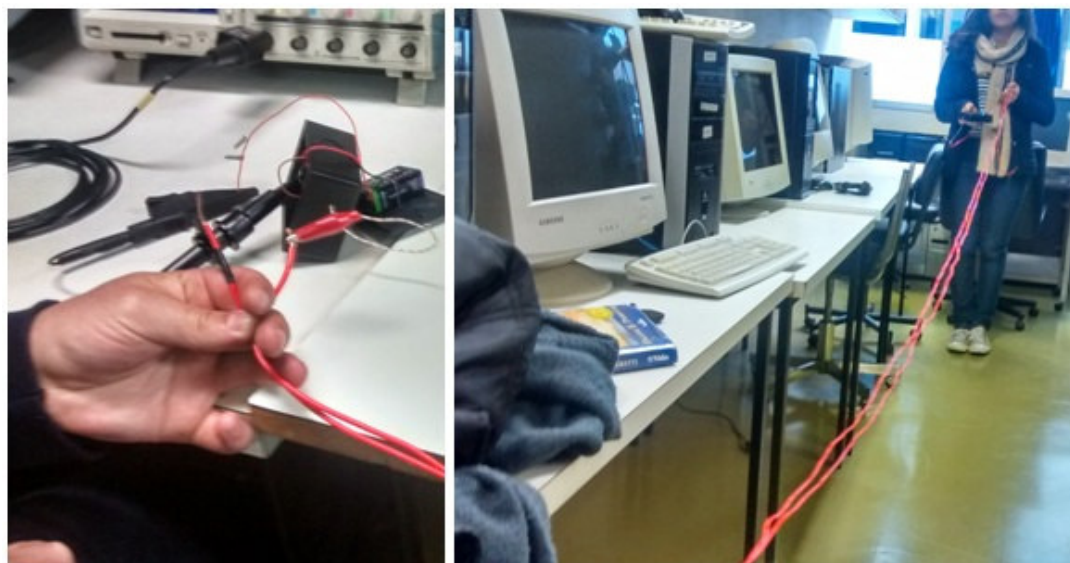
receptor ao receber a onda fornecida pelo gerador. No gráfico 16b há a medição da frequência do sinal.

Situação H



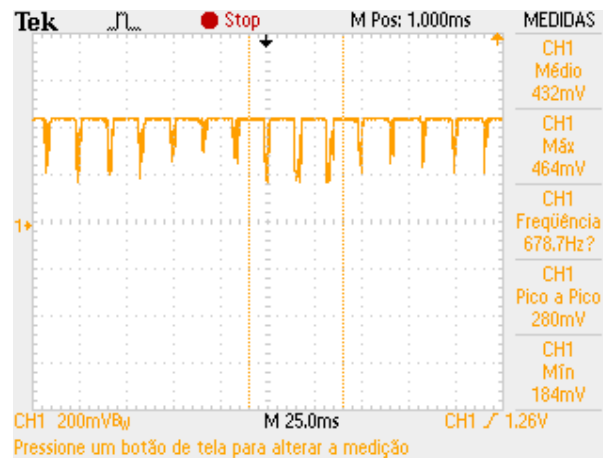
**Figura 51: Situação H.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Trocando o cabo no qual está conectada a ponteira do receptor, conforme mostrado na figura 52, obtém-se o gráfico 17.



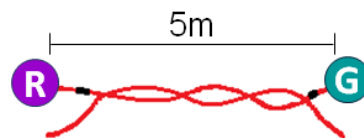
**Figura 52: Medição de tensão no par de 5 metros - situação H.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Este gráfico apresenta uma forma de onda que faz alusão a forma de onda obtida no gráfico 11 para a situação dos dois cabos de 1 metro paralelos em que se mediu com o receptor o cabo que não estava conectado ao gerador, ou seja, o fato de o cabo ser de um comprimento maior não demonstrou alterações significativas no sinal coletado.



**Gráfico 17: Medição de tensão nos cabos de 5 metros paralelos esticados - situação H.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

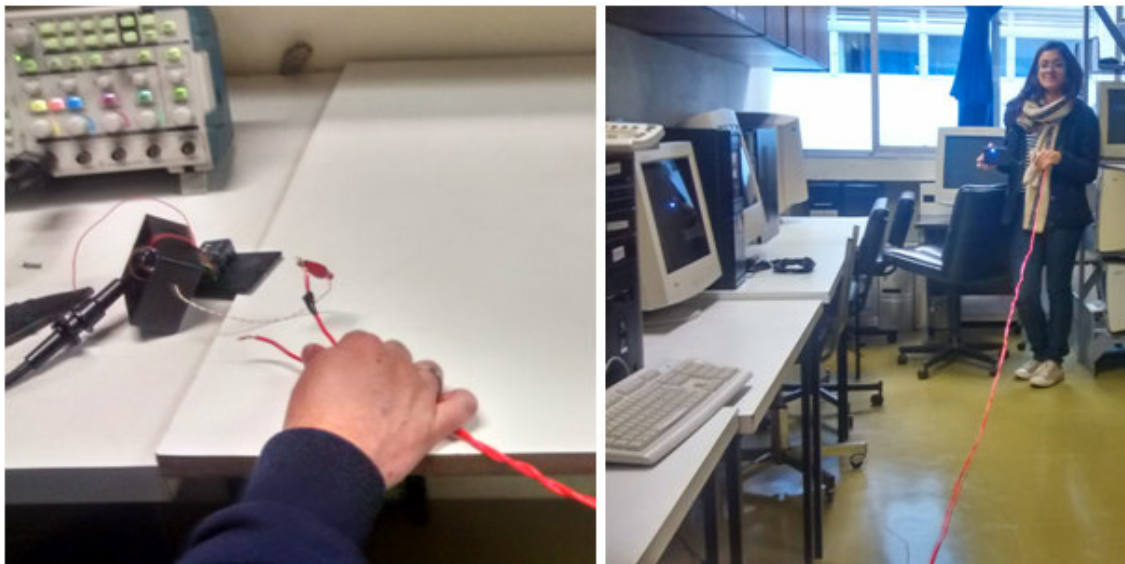
Situação I



**Figura 53: Situação I.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

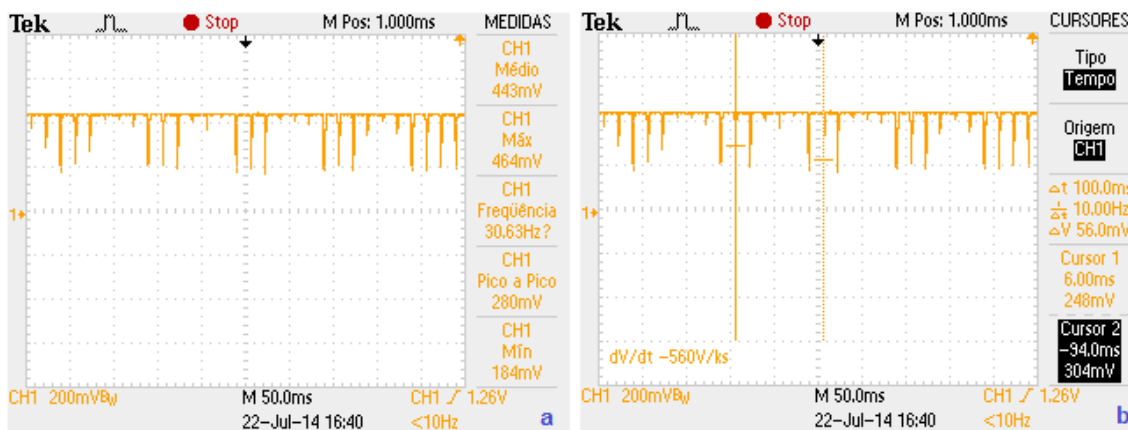
Trançando os cabos de 5 metros da mesma forma como foi realizado na situação C, segue abaixo a figura 54 e o gráfico 18 correspondentes.





**Figura 54: Medição de tensão no par de 5 metros - situação I.**  
 Fonte: Autoria Própria.

Como se esperava, a onda coletada apresenta características semelhantes a situação em que se tem o receptor conectado ao mesmo cabo em que o circuito gerador, como já anteriormente citado.



**Gráfico 18: Medição de tensão nos cabos de 5 metros trançados - situação I.**  
 Fonte: Autoria Própria.

## Situação J

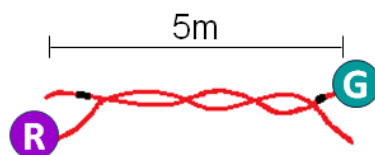


Figura 55: Situação J.  
Fonte: Autoria Própria.

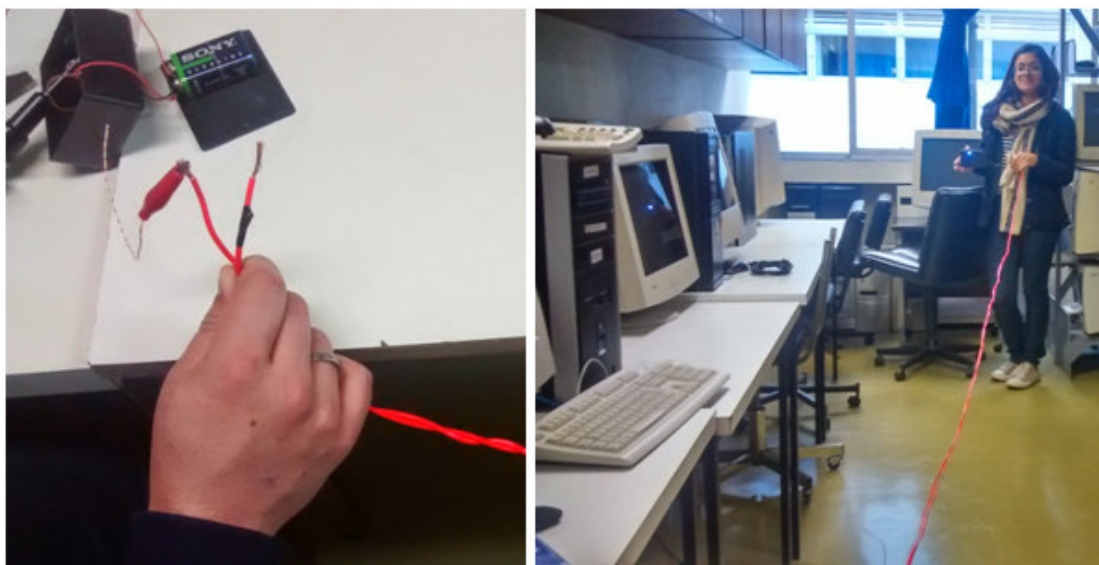


Figura 56: Medição de tensão no par de 5 metros - situação J.  
Fonte: Autoria Própria.

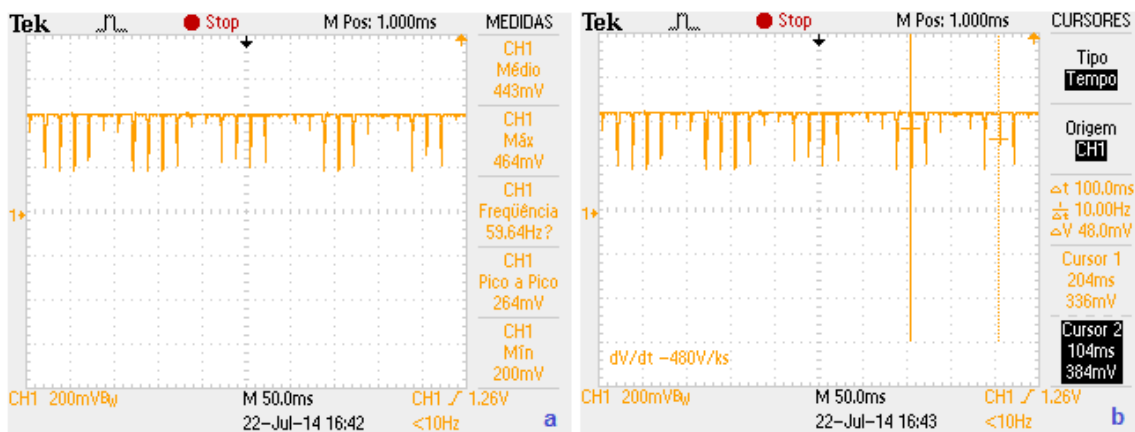


Gráfico 19: Medição de tensão nos cabos de 5 metros trançados - situação J.  
Fonte: Autoria Própria.

Comparando os resultados obtidos nas situações C e D e nas situações I e J pode-se concluir que a diferença de comprimento entre os cabos utilizados nos testes pouco interferiu nos fenômenos percebidos durante a realização das etapas, ou seja, o LED emite luz na mesma frequência que o circuito gerador bem com as formas de onda são análogas.

#### 4.2.4 Teste em cabo tetrapolar de 2 metros

Os cabos tetrapolares utilizados possuem seguintes características: os condutores têm bitola 2,5mm<sup>2</sup> e o diâmetro externo é de 10,9mm.

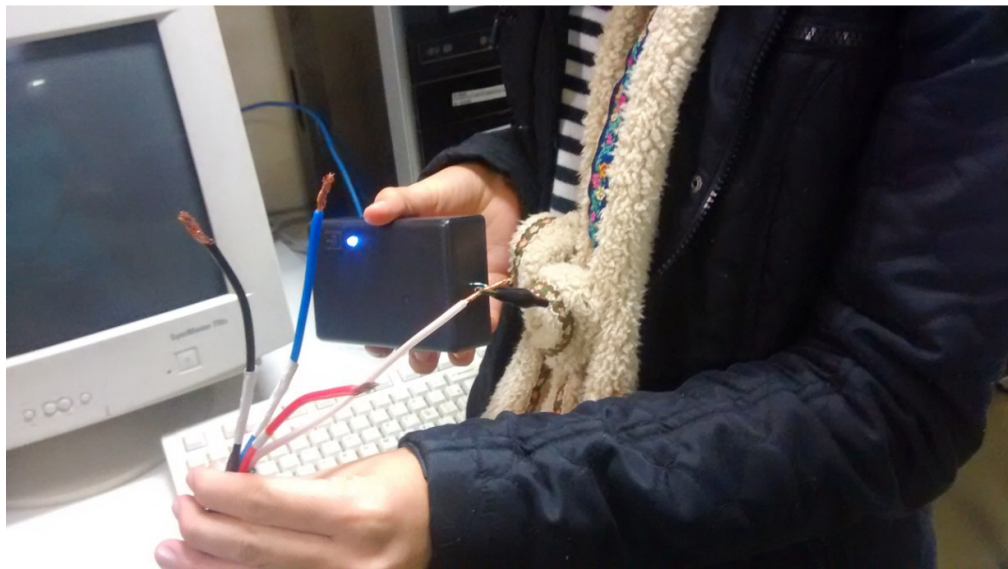
O quadro a seguir, relaciona os testes realizados detalhando em cada situação onde a ponteira do receptor estava conectada.

Cabo	Metodologia	Status da ponteira do receptor		Situação
Quadripolar 2m	Esticado	Branco	Cabo conectado ao gerador	K
		Azul	Cabo não conectado ao gerador	L
		Vermelho	Cabo não conectado ao gerador	M
		Preto	Cabo não conectado ao gerador	N

**Quadro 4: Metodologias adotadas para medição do cabo tetrapolar de 2 metros.**  
**Fonte: Aatoria Própria.**

O circuito gerador foi conectado no condutor branco do cabo tetrapolar e permaneceu como referência para os testes nesta mesma condição.





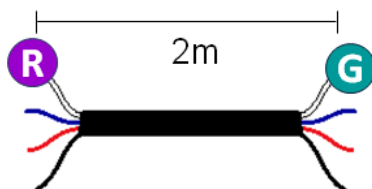
**Figura 57: Circuito gerador conectado ao condutor branco do cabo tetrapolar de 2 metros.**

**Fonte: Autoria Própria.**

Seguem abaixo apresentadas as situações com seus respectivos gráficos. Será exibida a figura da situação K a título de ilustração, pois nas outras situações subentende-se que o circuito receptor foi conectado aos condutores das cores relacionadas no quadro 4: metodologias adotadas para medição do cabo tetrapolar de 2 metros.

**fonte: autoria própria.**

Situação K



**Figura 58: Situação K.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

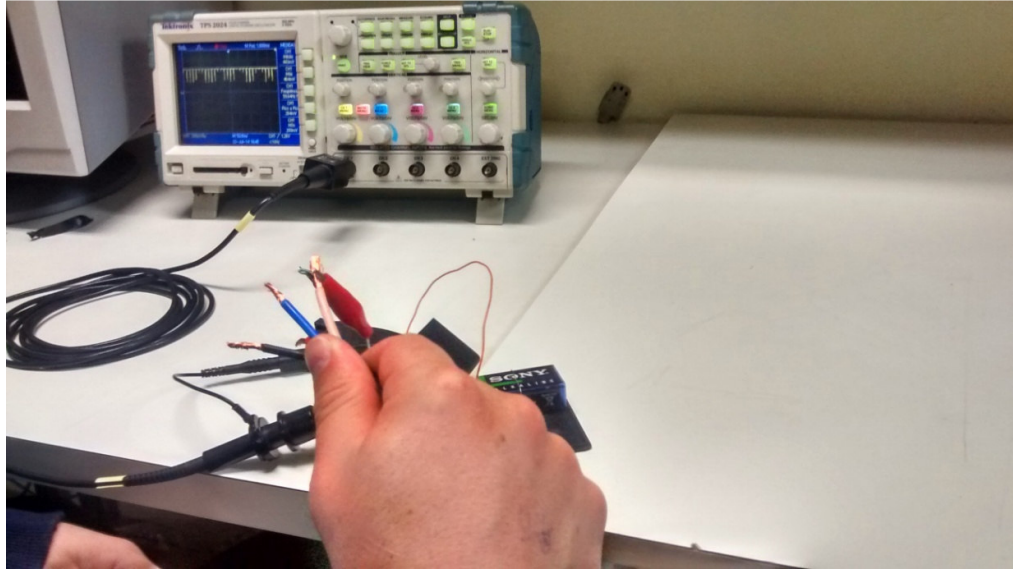


Figura 59: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 2 metros - situação K.  
Fonte: Autoria Própria.

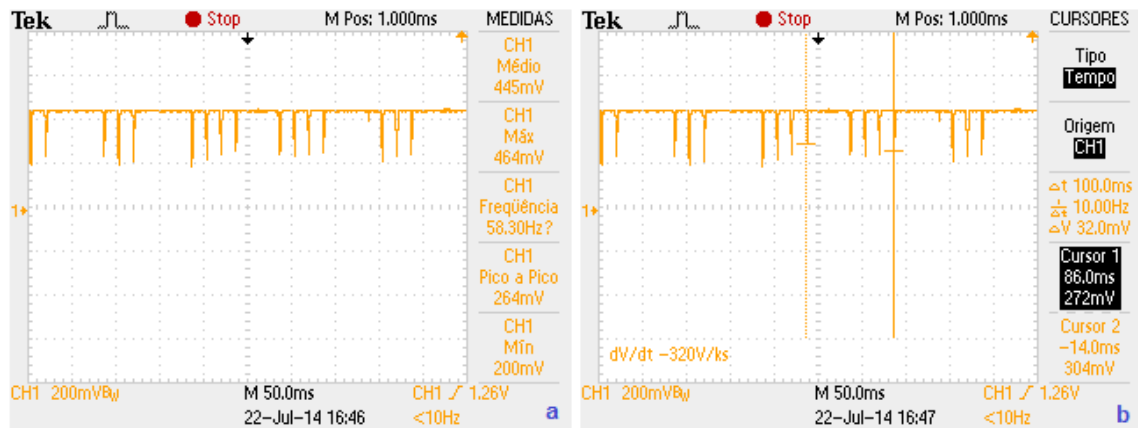


Gráfico 20: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 2 metros - situação K.  
Fonte: Autoria Própria.

Situação L

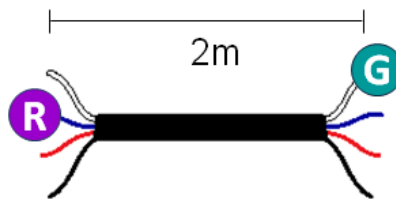
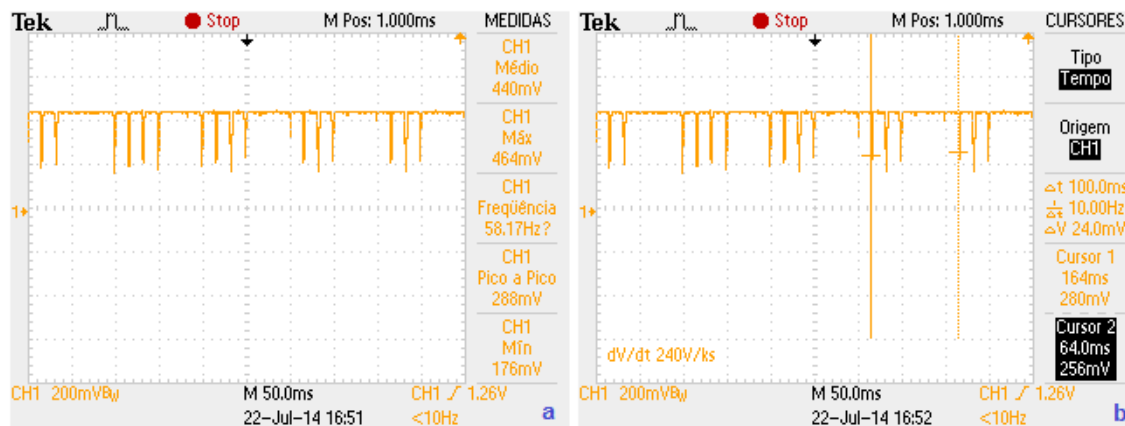
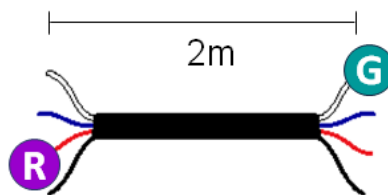


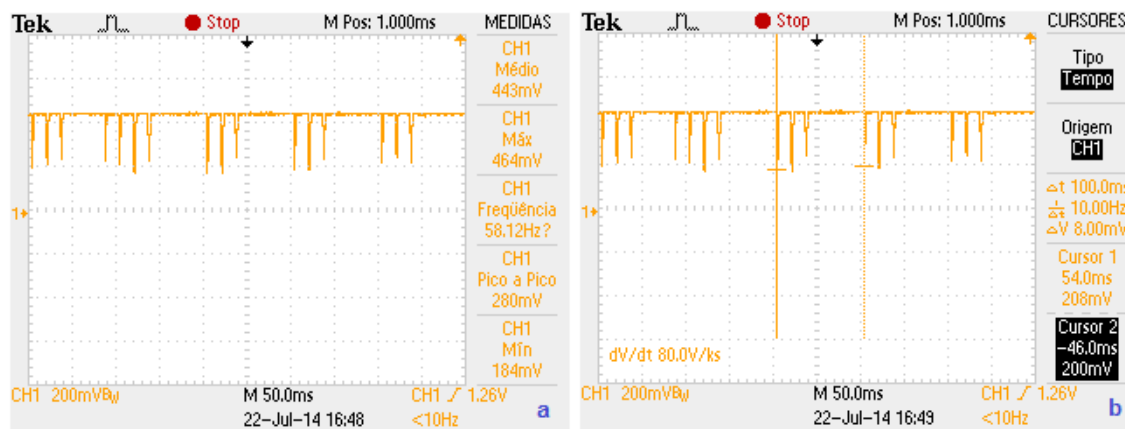
Figura 60: Situação L.  
Fonte: Autoria Própria.



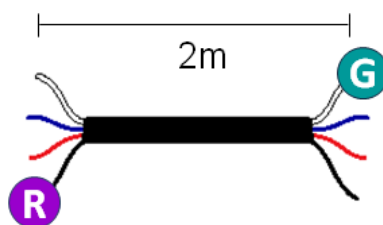
Situação M



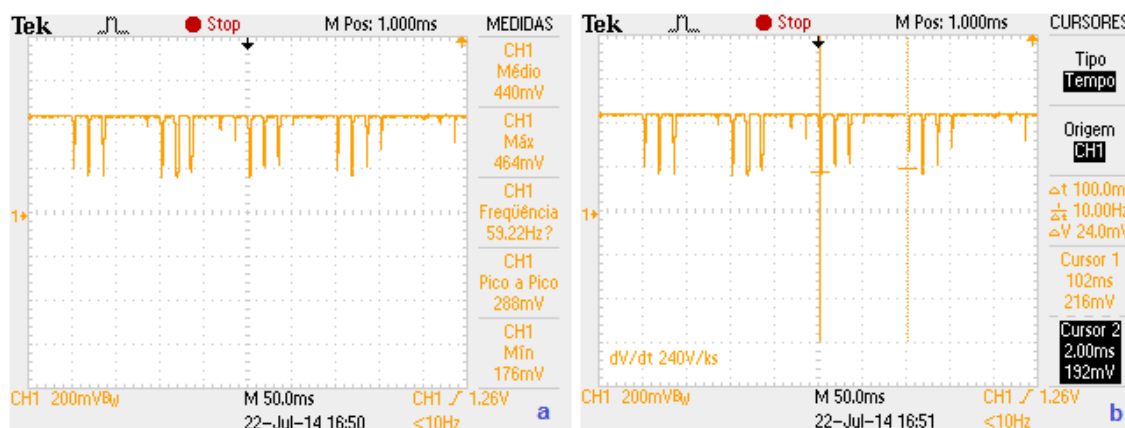
**Figura 61: Situação M.**  
**Fonte: Autoria Própria.**



## Situação N



**Figura 62: Situação N.**  
**Fonte: Autoria Própria.**



**Gráfico 23: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 2 metros - situação N.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Fazendo uma comparação das quatro situações nota-se que efeitos divisados são equivalentes, tanto nos gráficos quanto no aspecto visual, pois o cintilar do LED era visualmente igual em todas as medições.

#### 4.2.5 Teste em cabo tetrapolar de 5 metros

Do mesmo modo, o cabo tetrapolar de 5 metros possui as mesmas características que o cabo tetrapolar de 2 metros, apenas diferindo em seus comprimentos. A fim de manter um padrão de exposição das medições segue abaixo o quadro 5: metodologias adotadas para medição do cabo tetrapolar de 5 metros.

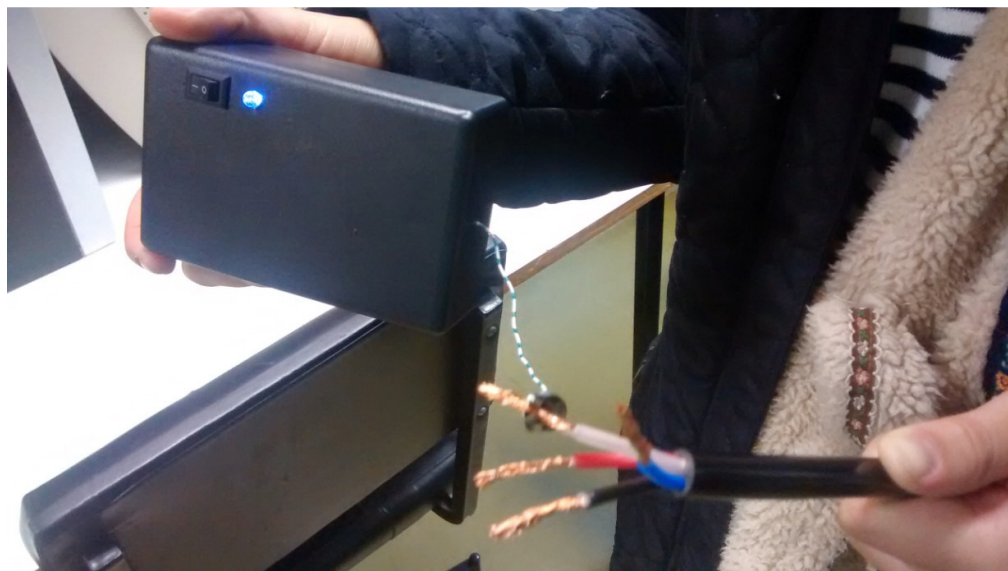
**fonte: autoria própria.**

relacionando as metodologias de medição empregadas.

Cabo	Metodologia	Status da ponteira do receptor		Situação
Quadripolar 5m	Esticado	Branco	Cabo conectado ao gerador	O
		Azul	Cabo não conectado ao gerador	P
		Vermelho	Cabo não conectado ao gerador	Q
		Preto	Cabo não conectado ao gerador	R

**Quadro 5: Metodologias adotadas para medição do cabo tetrapolar de 5 metros.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Segue abaixo salientado pela figura 63 em qual cabo o circuito gerador foi conectado a fim de serem realizados os testes. Vale evocar que a posição do gerador foi mantida durante a execução dos ensaios.



**Figura 63: Circuito gerador conectado ao condutor branco do cabo tetrapolar de 5 metros.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Na sequência segue-se a demonstração dos resultados extraídos durante os testes realizados conforme relacionados na quadro 5: metodologias adotadas para medição do cabo tetrapolar de 5 metros.

**fonte: autoria própria.**

. A figura 65 exibe a situação O, porém nas situações que se seguem pode-se deduzir a qual condutor foi conectado o receptor em cada etapa do teste apresentada.

Situação O

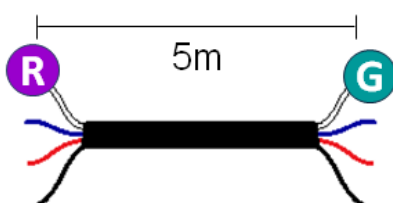


Figura 64: Situação O.  
Fonte: Autoria Própria.

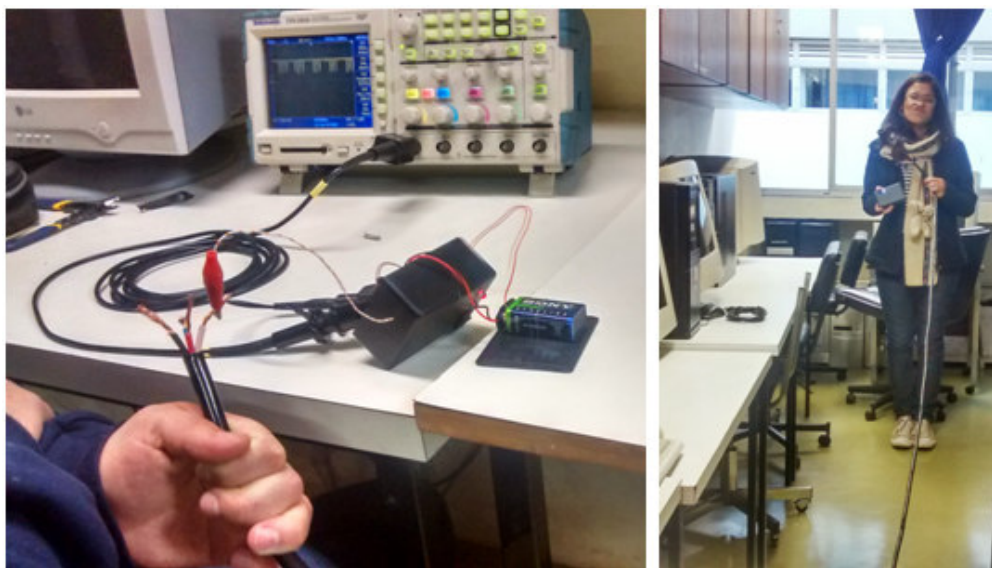
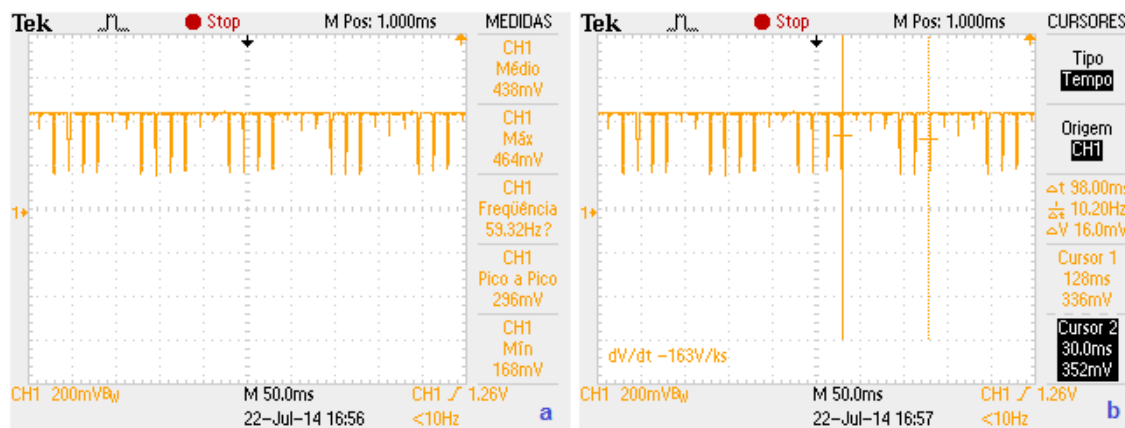
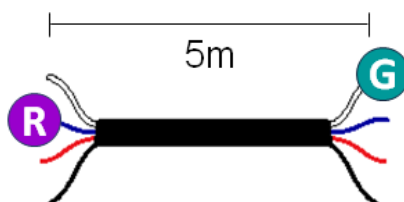


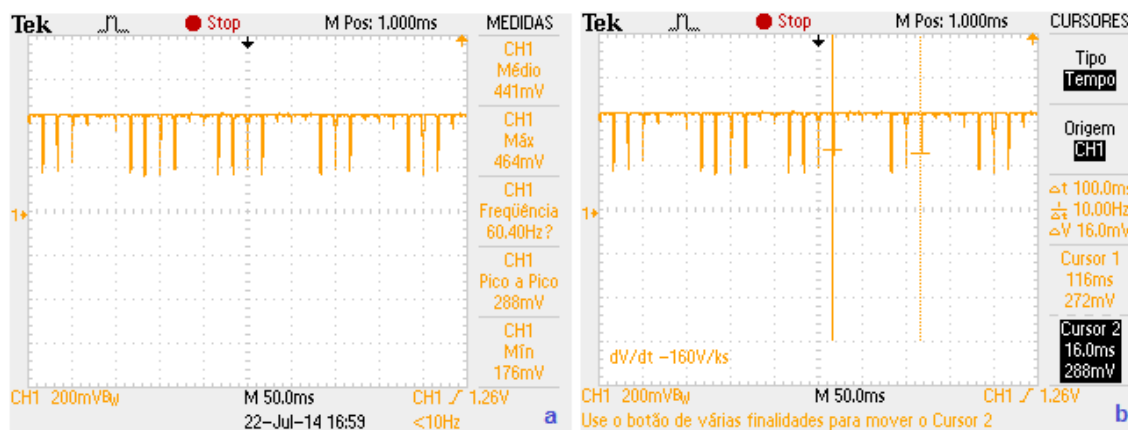
Figura 65: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 5 metros - situação O.



Situação P



**Figura 66: Situação P.**  
**Fonte: Autoria Própria.**



Situação Q



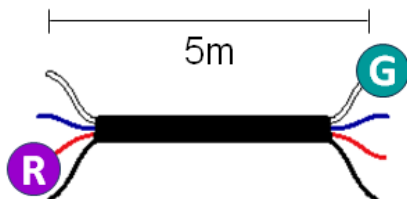


Figura 67: Situação Q.  
Fonte: Autoria Própria.

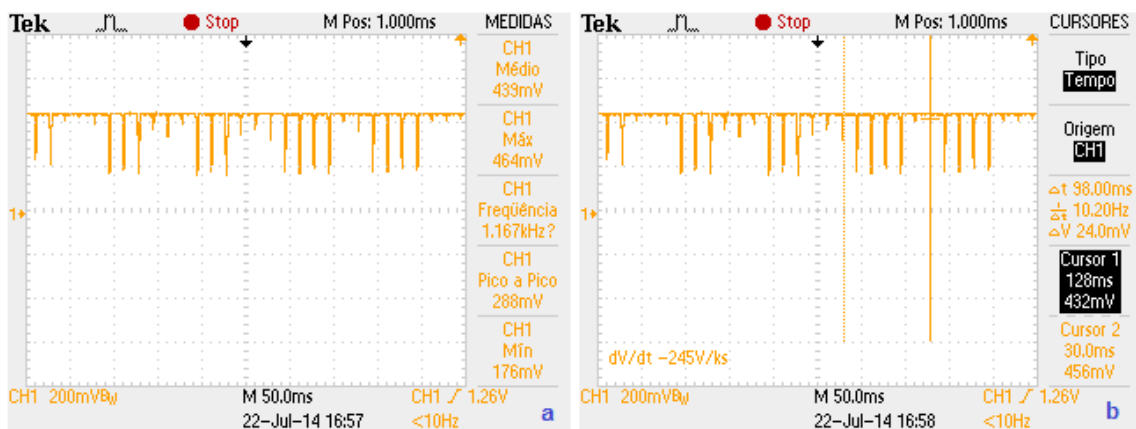


Gráfico 26: Medição de tensão no cabo tetrapolar de 5 metros - situação Q.  
Fonte: Autoria Própria.

Situação R

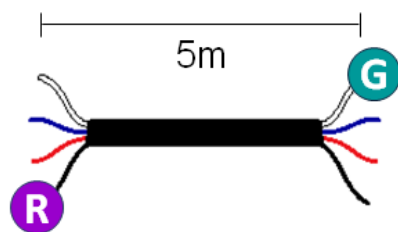
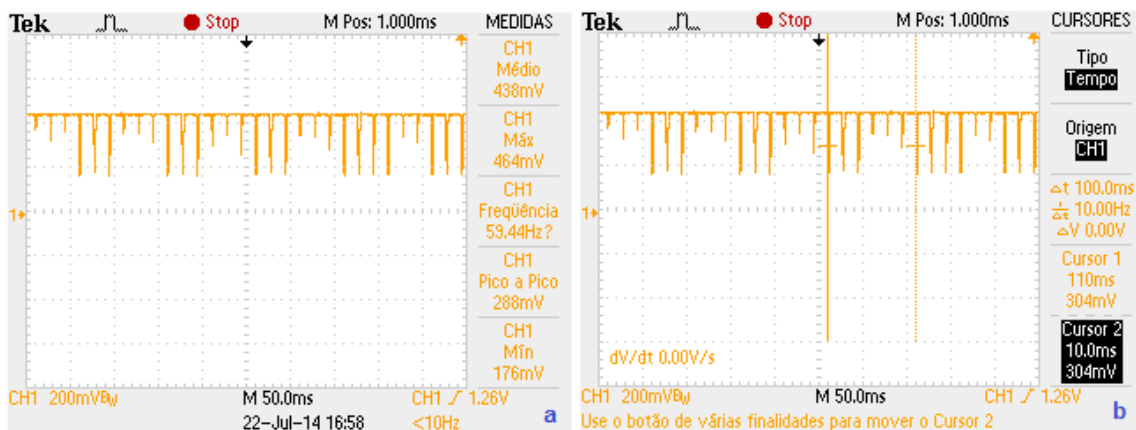


Figura 68: Situação R.  
Fonte: Autoria Própria.



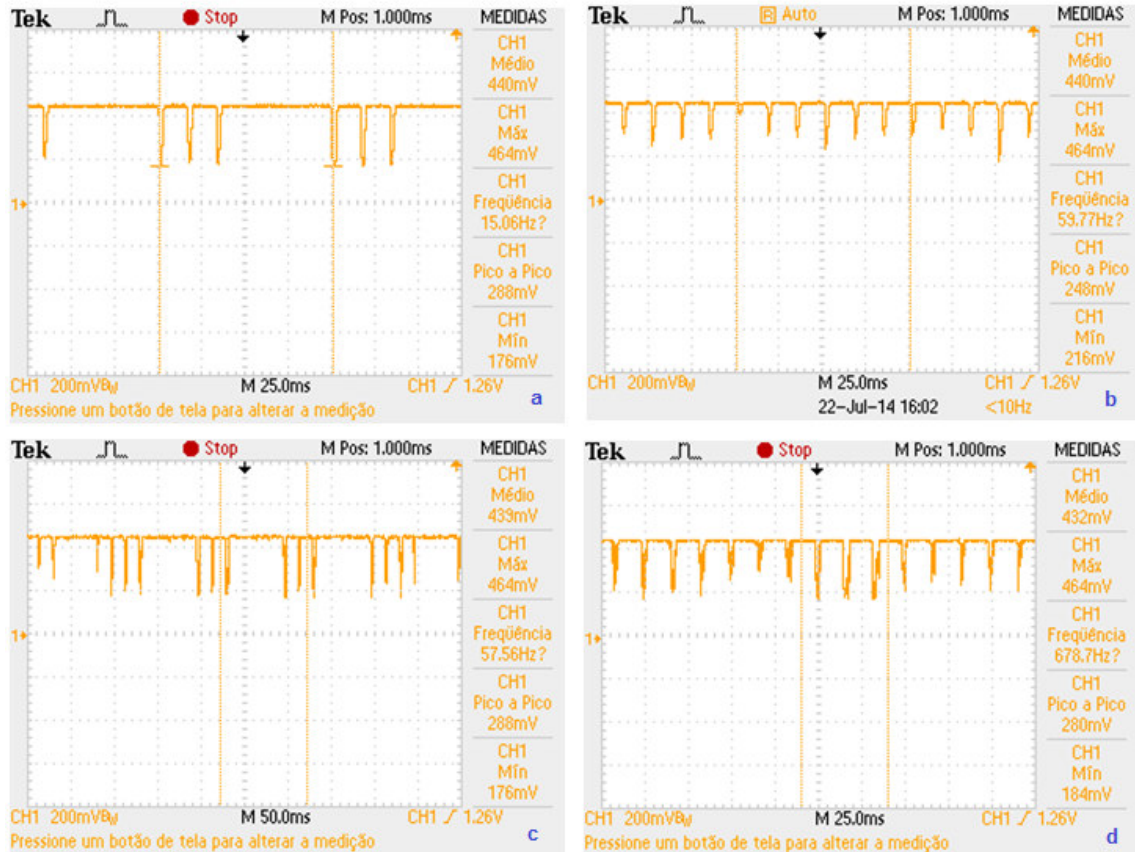


**Gráfico 27: Medidao de tensão no cabo tetrapolar de 5 metros - situao R.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Tendo em vista os testes realizados num cabo tetrapolar de 2 metros, confere-se que os resultados obtidos para o cabo de 5 metros são distintos de forma tnue. Nota-se a presença de alguns vales mais acentuados no gráfico 27 – gráfico que corresponde ao condutor mais distante do condutor conectado ao gerador. Entretanto investigando o cintilar do LED  inviável reconhecer qualquer diferença na luz intermitente, pois para todas as situaoes ele brilha piscando de modo pariforme.

#### 4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Investigando os gráficos das situaoes (A, B, G e H) nas quais os cabos estão dispostos lado a lado (paralelos), observa-se que quando o circuito receptor não  conectado no mesmo cabo que o circuito gerador, como mostra a figura 69(b e d), as formas de onda apresentam vales de tensão periodicamente de maneira semelhante. A única diferença encontrada consiste nos picos negativos dos vales, sendo maiores no caso do cabo de 5 metros do que no cabo de 1 metro. Outro detalhe importante a ser comentado  que quando ambos os circuitos estão ligados ao mesmo cabo as formas de onda adquiridas podem ser consideradas iguais, por conta de possuirem trens de impulsos elétricos negativos de amplitude de tensão aproximadamente iguais, igualmente espaçados e apresentarem um padrão de repetio peculiar.

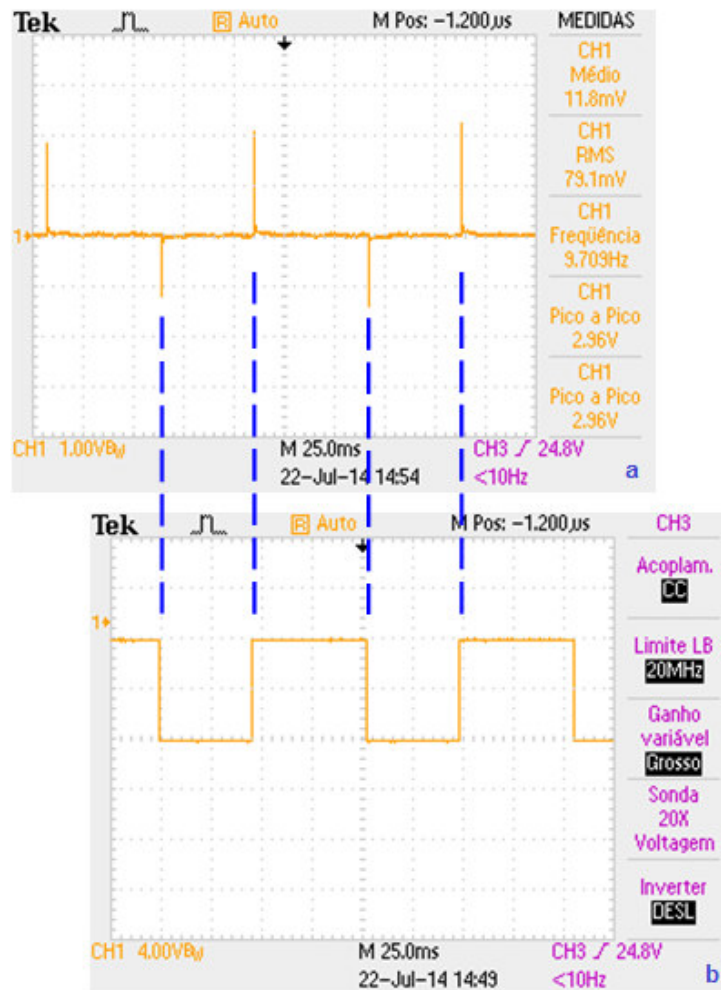


**Figura 69: Comparação entre cabo certo e cabo errado. (a) situação A. (b) situação B. (c) situação G. (d) situação H.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Dessa forma é possível distinguir quando a medição está sendo feita no mesmo cabo ou não.

Inicialmente esperava-se que o fato de o LED do circuito receptor cintilar na frequência emitida pelo circuito gerador comprovava que o sistema atestava a continuidade do condutor com exatidão. Porém nas situações D, F, J, L, M, N, P, Q, R onde os cabos utilizados nos testes estavam muito próximos, percebe-se que o LED piscou de forma idêntica, tanto nas experiências em que os circuitos estavam conectados num mesmo cabo quanto para as situações citadas acima nas quais os circuitos estavam conectados a cabos distintos. Pode-se supor que devido a proximidade dos cabos, ocorre o fenômeno da indução eletromagnética o que faz com que ambos os cabos fiquem submetidos a mesma variação de potencial elétrico produzida pelo gerador.

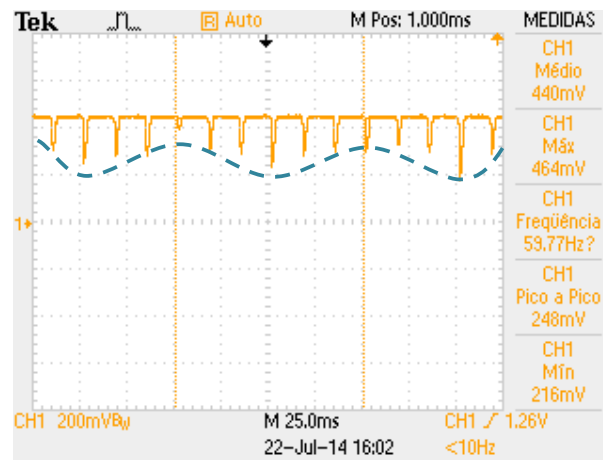
Comparando os sinais emitidos pelo gerador no gráfico 1 e os pulsos elétricos no gráfico 2 é possível concluir que os pulsos medidos são o espelho das bordas de subida e de descida da onda quadrada conforme demonstrado na figura 70. Esses pulsos são a garantia de que há variação do potencial elétrico na saída do circuito gerador, mesmo desconsiderando a referência.



**Figura 70: Comparação entre os sinais emitidos pelo gerador. (a) sem referência. (b) com referência.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

No decorrer dos testes executados percebe-se que o osciloscópio digital indicou a frequência de 60 Hz em diversos gráficos (gráfico 7, gráfico 8, gráfico 9, gráfico 11, gráfico 12, gráfico 13, gráfico 16, gráfico 19, gráfico 20, gráfico 21, gráfico 22, gráfico 23, gráfico 24, gráfico 25 e gráfico 27). Juntamente a este fato,

observam-se as situações B e H nas quais a medição foi realizada no cabo que não estava conectado ao gerador. Analisando o gráfico da situação B e considerando o tempo por divisão configurado para 25ms por divisão, encontra-se entre vales um período de aproximadamente 16ms. O período encontrado remete a frequência de 60 Hz. Além disso, olhando o gráfico com mais cuidado nota-se um segundo formato de onda nas incidências dos vales que remete a uma senóide - porém com uma frequência de 10Hz - como demonstrado no gráfico a seguir.



**Gráfico 28: situação B - alusão a uma senóide.**  
Fonte: Autoria Própria.

Em posse destas informações pressupõe-se que o ambiente estava sujeito à frequência da rede, equipamentos ligados na rede elétrica e a proximidade de tomadas, e que o osciloscópio não possuía isolamento apropriado para este efeito gerando interferência na medição.

#### 4.3.1 Limitações

O circuito receptor é vulnerável a variações eletromagnéticas, sejam elas por ondas que circulam pelo ambiente ou por interferências mecânicas quando se toca na carcaça do circuito ou no condutor que está se medindo. Porém apresenta um funcionamento razoavelmente regular se manuseado sem choques mecânicos e se a referência eletromagnética de terra for parecida, por exemplo: 2 pessoas em pé cada uma segurando um dos circuitos, ou ambos os circuitos deixados sobre o chão.

O sistema não apresenta uma forma precisa de detecção de continuidade. Na prática, apenas dependendo do sentido visual, ou seja, sem o auxílio de outros sistemas de medição (osciloscópio, multímetro), é difícil atestar com precisão a confiabilidade dos resultados.

Foi realizado um teste para a verificação da continuidade de cabos em uma residência com aproximadamente 30 m<sup>2</sup>. Com o prévio conhecimento de que a residência alimentada por apenas uma fase e o circuito da instalação apresentava-se desenergizado, foram feitos alguns testes conectando-se o circuito gerador na fase de uma tomada e conectando o circuito receptor na mesma fase, porém em outra tomada. Nestas circunstâncias não se obteve comprovação visual de que o LED do circuito receptor piscava na mesma frequência do circuito gerador. Concluiu-se que a utilização do protótipo em instalações residenciais para reconhecimento de circuitos não é viável, pois a variação de potencial gerada pelo circuito gerador é muito pequena e assim insuficiente para energizar por igual um circuito residencial, ressaltando o fato de que uma mesma fase é utilizada para alimentar vários circuitos, e que sua distribuição se dá de maneira radial na edificação. Para tal supõe-se que há necessidade de alterações no circuito gerador a fim de que este imponha tensão e potência maiores.

## 5. CONCLUSÕES

Levando em consideração as previsões e simulações propostas neste trabalho pode-se entender que o sistema desenvolvido, de maneira geral, foi bem sucedido no seu propósito básico: constatar continuidade sem depender de uma referência elétrica física.

Devido às dificuldades em analisar fenômenos de natureza eletromagnética, é difícil estimar o comportamento exato das grandezas elétricas, assim como os seus aspectos. Contudo a simples constatação de que o sinal captado assemelha-se ao sinal emitido pelo gerador e o estudo das características deste processo trouxe bastante êxito ao trabalho.

Testes e arranjo de cabos	Foi possível verificar continuidade pura?			Funcionamento
	LED	Osciloscópio	Multímetro	
<b>10m enrolado</b>	SIM	SIM	SIM	OK
<b>10m esticado</b>	SIM	SIM	SIM	OK
<b>situação A</b>	SIM	SIM	SIM	OK
<b>situação B</b>	NÃO	NÃO	NÃO	OK
<b>situação C</b>	SIM	SIM	SIM	OK
<b>situação D</b>	SIM	SIM	NÃO	NÃO OK
<b>situação E</b>	SIM	SIM	SIM	OK
<b>situação F</b>	SIM	SIM	NÃO	NÃO OK
<b>situação G</b>	SIM	SIM	SIM	OK
<b>situação H</b>	NÃO	NÃO	NÃO	OK
<b>situação I</b>	SIM	SIM	SIM	OK
<b>situação J</b>	SIM	SIM	NÃO	NÃO OK
<b>situação K</b>	SIM	SIM	SIM	OK
<b>situação L</b>	SIM	SIM	NÃO	NÃO OK
<b>situação M</b>	SIM	SIM	NÃO	NÃO OK
<b>situação N</b>	SIM	SIM	NÃO	NÃO OK
<b>situação O</b>	SIM	SIM	SIM	OK
<b>situação P</b>	SIM	SIM	NÃO	NÃO OK
<b>situação Q</b>	SIM	SIM	NÃO	NÃO OK
<b>situação R</b>	SIM	SIM	NÃO	NÃO OK

**Quadro 6: Relação final de testes e seus resultados.**

Fonte: Autoria Própria.

No quadro 6 tem-se o resumo dos testes realizados em laboratório e seus resultados. A coluna “Multímetro” serve como base do que deveria acontecer, ou seja, se aquele teste fosse realizado com um multímetro qual seria o resultado. Comparando-se as colunas “LED” e “Osciloscópio” vemos que seus resultados são iguais, o que comprova que as medições realizadas são condizentes com a prática. A coluna “Funcionamento” consiste numa comparação entre as colunas “LED” e “Multímetro”. Por meio desta coluna é possível concluir em para quais testes o sistema funcionou e para quais não funcionou, isto é, em testes que o sistema (LED) apresenta o mesmo resultado de um multímetro, funcionou, mas em testes que os resultados são diferentes o sistema não funcionou adequadamente.

Tendo em vista estes resultados, pode-se concluir que o sistema não é adequado para medir um cabo específico quando há dois ou mais cabos próximos, uma vez que dependendo da distância entre os condutores a interferência eletromagnética pode ser tão relevante que o resultado passa a não ser confiável.

Certamente o circuito apresenta diversas limitações, mas os resultados obtidos oferecem uma variedade de possibilidades para melhorias e assim conquistar melhor aplicação dentro da engenharia.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Implementar um sistema de percepção de frequência a ser colocado na entrada do circuito receptor de forma a limitar sua sensibilidade a outras frequências.
- Planejar um elevador de tensão para saída do circuito gerador de forma que o ruído percebido pelo circuito receptor tenha maior amplitude.
- Analisar a influência da frequência 60Hz no sinal captado.
- Implementação de filtros passa-baixa na entrada do receptor com a finalidade de atenuar as interferências externas.
- Implementação de microcontroladores para realizar tratamento matemático do sinal e selecionar uma frequência operacional.
- Verificar, por meio de estudos mais profundos, se o receptor responde melhor a determinada faixa de frequência, e se necessário utilizar de inversão de frequência para garantir que o usuário perceba visualmente o funcionamento.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 1997.

ARAÚJO, Lucínio Preza de. **Verificação das instalações elétricas**. Disponível em: < <http://www.prof2000.pt/users/lpa/Tecnologico.htm> > Acesso em 16 jul. 2013

BASTOS, João Pedro Assumpção. **Eletromagnetismo para Engenharia: Estática e Quase-Estática**. Edição da UFSC, 2ª edição revisada, 2008.

BATES, David J; MALVINO, Albert Paul **Eletrônica**. Tradução: José Lucimar do Nascimento. Revisão: Antonio Pertence Júnior. Volume 2. 7ªed. Porto Alegre, McGraw-Hill, 2007.

BERLIN, Howard M. **Aplicações para o 555**. Tradução: Júlio Amâncio de Souza. 1ªed., São Paulo, Editele, 1976.

BOYLESTAD, Robert. **Introdução à Análise de Circuitos**. Tradução: J. A. Souza. Revisão: Ronaldo Sérgio de Biasi. 8ªed. Rio de Janeiro, Prentice-Hall 1997.

BOYLESTAD, Robert; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 5ªed. Rio de Janeiro, Prentice-Hall, 1994.

BUCK, John A.; HAYT Jr.,William H. **Eletromagnetismo**. Tradução: Marco Aurélio de Oliveira Schroeder. Revisão: Antonio Pertence Júnior. 8ªed. McGrawHill, Porto Alegre, 2013.

CABLOFIL. **Manual técnico**. Caxias do Sul: Cablofil, 2011, 14 p.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 8ª ed. Rio de Janeiro ; LTC Editora S.A., 1983.

CRUZEIRO, Mário Rodrigues. **Transistores e seus circuitos**. 2ª ed. Edições Salesianas, 1964.

CPU-UP, **Blog spot**. Disponível em <<http://cpu-up.blogspot.com.br/2010/05/chips-transistores-e-valvulas.html>> Acesso em 08/02/ 2014.



Datasheet NE555, Disponível em: <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/17972/PHILIPS/NE555/244/1/NE555.html>

DAVID, Irwin J. **Análise de Circuitos em Engenharia**. 4ª Ed. São Paulo, Makron Books do Brasil Editora Ltda, 2000.

DURNEY, Carl H. **Circuitos elétricos: teoria e aplicações em engenharia**. Tradução: Iris Schwarz Baiocchi. Rio de Janeiro, Campus, 1985.

E-FÍSICA, **Ensino de Física Online**. Disponível em [http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/fenomenos/principios/](http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/ fenomenos/principios/) Acesso em: 01/03/2014.

ENDIGITAL, **Website**. Disponível em: <http://endigital.orgfree.com/sequencial/FLIPFLOP1.HTM>> Acesso: 01/03/2014.

FERRAZ, Neto Luiz. Disponível em: [http://www.feiradeciencias.com.br/sala15/15\\_46.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala15/15_46.asp) Acesso em 04/03/2014.

FERREIRA, Aitan Póvoas. **Curso básico de eletrônica**. 3ªed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1983.

FONTANA, Eduardo. Disponível em <http://www.ufpe.br/fontana/Eletromagnetismo2/EletromagnetismoWebParte02/mag2cap6.htm>> Acesso em: 03/03/2014.

GOMES Sinésio. Disponível em <http://eletronicaanalogica1.blogspot.com.br/2013/02/formas-construtivas-de-capacitor.html>> Acesso em 21/02/2014.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S. **Física 3**. Tradução: João Paulo Pinto dos Santos; Revisão: Márcio Quintão Moreno. 4ª Edição, 1996.

HELFRICK, Albert D.; COOPER, William D. **Instrumentação Eletrônica Moderna e Técnicas de Medição**. [tradução: Antônio Carlos Inácio Moreira]. Rio de Janeiro, Copyright, 1994.

KUBATAMAIA, Masayuki. **Construção de uma Lanterna com Leds de Alta Luminosidade**. Disponível em: [http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Diversos/lanterna\\_howto.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Diversos/lanterna_howto.pdf), 2004.

LALOND, David E; ROSS, John A. **Dispositivos e Circuitos Eletrônicos**. Tradução: Alex Belo Feres Francisco; Revisão: Antonio Pertence Jr. Volume 2, São Paulo, Makron Books, 1999.

LANA, Carlos Roberto de. Disponível em <http://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/forca-eletrica-e-campo-eletrico-lei-de-coulomb.htm>> Acesso em: 01/03/2014.

MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. 1ª ed. Volume 1. São Paulo, McGraw-Hill, 1987.

MARQUES, Domiciano. **Processo de eletrização** Disponível em: <http://www.brasilecola.com/fisica/processo-eletrizacao.htm>> Acesso em 01 mar. 2014.

MILEAF, Harry. **Eletricidade 3**. São Paulo: Martins fontes, 1982.

MILEAF, Harry. **Eletricidade 5**. São Paulo: Martins fontes, 1983.

NUSSENZVEIG, Moysés, H; **Curso de Física Básica3 Eletromagnetismo**. Editora: Blücher, 1ª Edição, 1997.

PORTELA, Orlando; **Cabo se rompe e cidade do Piauí fica cerca de sete horas sem energia**. Disponível em <http://www.piauihoje.com/noticias/cabo-se-rompe-e-cidade-do-piaui-fica-cerca-de-sete-horas-sem-energia-eletrica-46108.html>.> Acesso em: 16 jul. 2013.

RAMALHO Jr., Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; TOLEDO, Paulo Soares. **Os fundamentos da física**. Vol. 3 9ª Ed. Editora Moderna – Didáticos, 2007.

SANTANNA. **Eletrônica – Transistor – Polarização**. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/Miojex360/apostila-de-transistor-polarizao>> Acesso em 08 fev. 2014

SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C. **Circuitos Microeletrônicos**. Tradução de Eduardo Ramírez Grycuk e Jorge Humberto Romo Munõz. Revisão Técnica de Eduardo Ramírez Grycuk. 4ªed. México, 2002.

SEDRA, Adel S.; Smith, Kenneth C. **Microeletrônica**. Tradução e Revisão técnica: Antônio Carlos Seabra, Márcio Lobo Neto, Sebastião Gomes dos Santos Filho e Wilhelmus Adrianus Maria Van Noijs. 4ªed. Markon Books. São Paulo, 2005

SENAI. **Eletrônica Analógica – Teoria**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABaW0AB/amplificador-sinais>> Acesso em 12 fev. 2014.

SILVA, José N. **Uma abordagem histórica e experimental da Eletrostática**. Estação Científica (UNIFAP), 2011.

STEVENSON, William D. **Elementos de Análise de Sistemas de Potência**. Tradução: Ademaro A. M. B. Cotrim; revisão: Antônio N. Meneguzzi. São Paulo, McGraw-Hill, 1978.

TUCCI, Wilson J.; BRANDASSI, Ademir. E. **Circuitos básicos em eletricidade e eletrônica**. São Paulo: Nobel,1979.

TURNER, Rufus P. **Instrumentos Electronicos**. [Traduzido para o espanhol por Emilio N. Packmann] Buenos Aires, HASA, 1969.

U.S. NAVY, BUREAU OF NAVAL PERSONNEL, TRAINING PUBLICATIONS DIVISION. **Eletricidade Básica**. Editora: Hemus – Livro traduzido e publicado com licença especial.

YOUNG, Hugh D; FREEDMAN, Roger A. **Física 3 Eletromagnetismo**. Tradução: Sonia Midori Yamamoto. 12ª Edição, 2009.

WIKIPEDIA, 2007. Disponível em <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Campo\\_magn%C3%A9tico](http://pt.wikipedia.org/wiki/Campo_magn%C3%A9tico)> Acesso em: 01/03/14

WIKIPEDIA. 2008. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/CI\\_555](http://pt.wikipedia.org/wiki/CI_555)> Acesso em 16/03/2014.