

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SISTEMA LOCALIZADOR DE FONTES GERADORAS
DE CAMPO MAGNÉTICO**

CARLOS ANTÔNIO DA SILVA

**CARATINGA
2018**

CARLOS ANTÔNIO DA SILVA

**SISTEMA LOCALIZADOR DE FONTES GERADORAS
DE CAMPO MAGNÉTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Elétrica das Faculdades DOCTUM de Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.
Professor Orientador: Msc. Robson da Silva.

CARATINGA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: SISTEMA LOCALIZADOR DE FONTES GERADORAS DE CAMPO MAGNÉTICO, elaborado pelo(s) aluno(s) CARLOS ANTÔNIO DA SILVA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Caratinga 07/12/2018



ROBSON DA SILVA
Prof. Orientador



GUILHERME CASSIMIRO DE ARAÚJO BORGES
Prof. Avaliador 1



RICARDO BOTELHO CAMPOS
Prof. Examinador 2

*A Amanda, Laura e Luíza.
A nossa vida é uma partilha.
Dedico este trabalho a Deus e a todos que compartilharam sua vida e
conhecimentos a mim.*

AGRADECIMENTO

Somos únicos, mas somos também, parte da vida de muitos que convivem, trabalham e constroem sonhos.

A Deus, Senhor de tudo, pela vida e capacidade doada.

A minhas filhas, agradeço pela motivação e pelo novo olhar da vida.

Ao meu Orientador, Msc. Robson Silva, o respeito e gratidão.

Agradeço a todos que contribuíram para a conclusão desta etapa de minha jornada: Coordenador, Professores e funcionários da DOCTUM. Cada um, em sua função, participou e contribuiu para meu sucesso.

"Na vida, não existe nada a temer, mas a entender."

Marie Curie

SILVA, Carlos Antônio da. **SISTEMA LOCALIZADOR DE FONTES GERADORAS DE CAMPO MAGNÉTICO**. Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica – Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades DOCTUM de Caratinga. Rede DOCTUM, Caratinga 2018.

RESUMO

Campos magnéticos estão presentes em inúmeras áreas da tecnologia, como motores elétricos e discos rígidos de computadores. Sua importância faz com que pesquisas sobre magnetismo sejam extremamente necessárias e apresentaram grandes avanços técnicos nas últimas décadas. Neste trabalho será utilizada a aplicação dos conceitos referentes a campos magnéticos para construção de uma máquina capaz de detectar, identificar polaridade de campos e fornecer parâmetros de aproximação de fontes magnéticas. Através dos resultados obtidos no procedimento adotado na pesquisa, foi possível determinar uma configuração para desenvolver um dispositivo capaz de medir a distância relativa entre um transdutor e fontes de campos magnéticos.

Palavras-chave: Campos magnéticos. Sensores HALL. Automação Industrial.

SILVA, Carlos Antônio da. **SISTEMA LOCALIZADOR DE FONTES GERADORAS DE CAMPO MAGNÉTICO**. Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica – Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades DOCTUM de Caratinga. Rede DOCTUM, Caratinga 2018.

ABSTRACT

Magnetic fields are present in numerous areas of technology such as electric motors and computer hard drives. Its importance makes research on magnetism extremely necessary and presented great technical advances in the last decades. In this work we use the concepts related to magnetic fields for the construction of a machine capable of detecting, identifying polarity of fields and providing parameters for approximation of magnetic sources. Through the results obtained in the procedure adopted in the research, it was possible to determine a configuration to develop a device capable of measuring the relative distance between a transducer and sources of magnetic fields.

Key-words: Magnetic fields. HALL sensors. Industrial automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Campos magnéticos dos ímãs.....	19
Figura 2 – Efeito Hall.....	21
Figura 3 - Elemento Hall.....	22
Figura 4 – Efeito Hall V_{HALL} induzido.....	22
Figura 5 – Diagrama de blocos Atmega 328P.....	23
Figura 6 – Encapsulamento FT232R.....	24
Figura 7 – Plataforma EasyEDA.....	25
Figura 8 - Ímã de Neodímio.....	26
Figura 9 - Plataforma Longitudinal.....	27
Figura 10 – IDE Arduino.....	28
Figura 11 – Esquema circuito eletrônico.....	30
Figura 12 – Distribuição do hardware.....	31
Figura 13 – Máscara PCI Roteamento.....	31
Figura 14 - Gravação do Bootloader.....	32
Figura 15 – Sistema montado em protoboard.....	33
Figura 16 - PCI 01.....	34
Figura 17 – Plataforma Longitudinal Coleta da dados.....	35
Figura 18 – Calibração livre de fonte magnética.....	37
Figura 19 – Face Sul.....	38
Figura 20 – Face Norte.....	38
Figura 21 – Campo não detectado.....	43
Figura 22 – Campo Sul detectado. Distância em milímetros.....	44
Figura 23 – Campo Norte detectado. Distância em milímetros.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conversão de Unidades	20
Tabela 2 - Grandeza de Campos Magnéticos.....	20
Tabela 3 - Relações Tensão/Distância.....	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Polo Sul	41
Gráfico 2 – Polo Norte.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EElib	Biblioteca de componentes eletrônicos
A/m	Ampére metro
SI	Sistema Internacional
CGS	Sistema de unidades de medidas físicas
PCI	Placa de Circuito Impresso
GND	Ground (Terra)
mm	Milímetros
IDE	Interface de Engenharia e Desenvolvimento
RISC	Componente com conjunto reduzido de instruções
CPU	Unidade Central de Processamento
ALU	Instruções Aritméticas e Lógicas
USB	Universal Serial Bus
UART	Recepção/transmissão Universal Assíncrono
TXD	Transmissão
RXD	Recepção
DC	Corrente Contínua

LISTA DE SÍMBOLOS

H	Campo Magnético
Oe	Oersted
G	Gauss
T	Tesla
B	Indução Magnética
I _{BIAS}	Corrente de Polarização
V _{HALL}	Tensão medida ao longo do chip Hall
V	Voltagem, normalmente medido em Volts (V)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETO DE ESTUDO	18
2.2 Objetivo	18
2.4 Justificativa	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 Campos Magnéticos	19
3.2 Efeito HALL.....	21
3.3 Transdutor de Efeito HALL A1302	21
3.4 Processador ATmega 328/P	22
3.5 Conversor FT 232R USB/UART	24
3.6 Plataforma de desenvolvimento EASYEDA	24
3.7 Ímã de Neodímio	26
3.8 Plataforma Longitudinal.....	27
3.9 IDE Arduino	27
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS	29
4.1 Módulo de Distância de Campos Magnéticos - MDMAG	29
4.1.1 Desenvolvimento do Circuito Eletrônico	29
4.2 Construção do Hardware	32
4.2.1 Gravação de <i>bootloader</i>	32
4.2.2 Montagem do circuito em <i>ProtoBoard</i>	33
4.3 Confecção de PCI e Montagem.	34
4.4 Plataforma Longitudinal.....	34
4.5 Coleta Dos Dados	35
4.5.1 Calibração Do Experimento em Relação ao Polo Sul:	35
4.5.2 Calibração Do Experimento em Relação ao Polo Norte:.....	36
4.5.3 Correlação distância da fonte magnética x tensão de saída	36
5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	37
5.1 Resultados da calibração	37
5.1.1 Calibração livre de fonte magnética pontual.....	37
5.1.2 Calibração com fonte magnética pontual.....	38
5.2 Ensaios na presença de fonte magnética	39
5.3 Correlações Tensão/distância.....	40
5.3.1 Análise Polo Sul	40

5.3.2 Análise Polo Norte.....	41
5.4 Resultados da automação	42
6 CONCLUSÃO	46
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

Desde a descoberta da magnetita no século VI AC o homem tem procurado compreender o mecanismo que gera essa fonte de força magnética. O fato de o imã conseguir atrair certos tipos de materiais serviu como inspiração para a criação de uma área de pesquisa que tem proporcionado grandes descobertas. A compreensão do funcionamento dos mecanismos geradores de campos magnéticos alavancou o desenvolvimento do setor tecnológico mundial. Hoje, tudo que temos no mundo moderno, é consequência direta ou indireta da compreensão das leis do eletromagnetismo de Maxwell.

Neste sentido, afirma Halliday (2004) que,

Hoje em dia, essa descoberta é utilizada em uma ampla gama de aplicações práticas, desde os pequenos imãs de geladeira, até a fita magnética e discos de computador. O magnetismo dos núcleos atômicos individuais é utilizado por médicos para fazer imagens de órgãos do interior do corpo. Espaçonaves foram utilizadas para medir o magnetismo da Terra e de outros planetas, com o objetivo de colher informações sobre as estruturas internas deles.

O avanço da eletrônica possibilitou o desenvolvimento de ferramentas e transdutores capazes de decodificar sinais elétricos em informações que a maioria dos seres humanos consegue interpretar. Desta forma, as interfaces homem/máquina tornaram-se mais compreensíveis.

O processo de automação de equipamento e máquinas, utiliza algum tipo de sinal para se orientar e desempenhar, uma ou outra função específica nos sistemas de monitoramento ou processo de produção. Segundo Groover (2001), automação pode ser definida com uma tecnologia preocupada com a aplicação de mecânica, eletrônica e sistemas baseados em computadores para operar e controlar uma produção.

Dentre os sinais mais utilizados na indústria destaca-se o uso de ondas em infravermelho utilizado no acionamento de portas ou controle de esteiras de linha de produção, ou ainda sensores ultrassônicos utilizados na detecção de obstáculos.

Nesta pesquisa, decidiu-se por trabalhar e tratar sinais que são pouco aplicados em automação, mas que podem ser utilizados para direcionamento de máquinas que necessitam se orientar através de fontes geradoras de campo magnético. Motivado

por observações de máquinas que verificam linhas de transmissão de energia elétrica e percebendo as dificuldades encontradas em manter o posicionamento relativo, linha/observador, desenvolveu-se um protótipo funcional que permita localizar com precisão razoável condutores e objetos que emitem campo magnético. Neste contexto utilizou-se um transdutor HALL acoplado a um circuito capaz de detectar origens de fonte magnética com distância relativa de 30mm.

Para facilitar o entendimento da pesquisa e desenvolvimento do projeto, este trabalho foi estruturado em seis capítulos, que se inicia neste com a Introdução.

O segundo capítulo aponta o objeto de estudo, objetivos e justificativa para este trabalho.

No terceiro capítulo, constitui o Referencial Teórico, com a conceituação de todo material que serviu de suporte para desenvolver a construção do protótipo e determinar o protocolo de coleta de dados.

O quarto capítulo, aborda os procedimentos metodológicos de construção e de coleta de dados.

Finalizando, no quinto e sexto capítulo, são apresentados e discutidos os principais resultados e conclusões obtidas durante todo desenvolvimento do trabalho.

2 OBJETO DE ESTUDO

O interesse de estudo de campos magnéticos, naturais ou produzidos pela atividade humana, é crescente. Uma das razões diz respeito a enorme aplicação em processos industriais e no desenvolvimento tecnológico. O foco deste trabalho é o campo magnético produzido por uma fonte artificial e sua utilização, em um modelo para construção de equipamento autônomo.

2.1 Hipóteses

As máquinas autônomas utilizam em sua orientação diversas fontes de sinais para sua orientação: calor, luz, movimento. O aproveitamento dos campos magnéticos, como sinal, caracterizando seus parâmetros e utilizando-os para a realização de uma tarefa, é possível?

2.2 Objetivo

Detectar, identificar polaridade e distâncias de fontes geradoras de campos magnéticos. Como objetivo específico, a construção de protótipo que alcance os objetivos e indique, em uma interface, as informações em linguagem simples para o operador.

2.4 Justificativa

A utilização de máquinas autônomas em tarefas de risco, ou repetitivas, o aproveitamento dos campos magnéticos gerados por atividades humanas e o aumento da produtividade, justificam este trabalho.

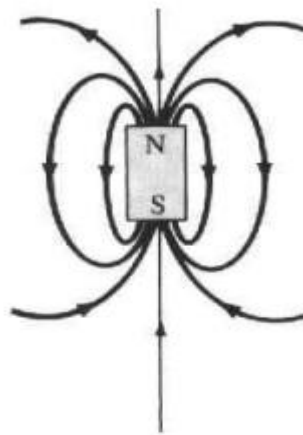
3 REFERENCIAL TEÓRICO

Os conceitos que envolvem a aplicação dos campos magnéticos, os aplicativos e componentes utilizados no desenvolvimento do protótipo, são apresentados no presente capítulo, explorando e concatenando todas pesquisas abordadas sobre o tema.

3.1 Campos Magnéticos

Definimos campo magnético como sendo a região em volta de um ímã onde ocorrem interações magnéticas. HAYT (2013), afirma que, a fonte de um campo magnético estacionário pode ser um ímã permanente, um campo elétrico variando linearmente com o tempo ou uma corrente contínua. O campo magnético é representado por um vetor, chamado de indução magnética, que pode ser representado apenas por (**B**). A figura 1 apresenta as linhas de **B**.

Figura 1: Linhas de **B** devido aos dipolos magnéticos.



Fonte: SADIKU, 2012

Segundo o Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo (IPEM-SP) a unidade de campo magnético (H) no Sistema Internacional é Ampère por metro [A/m]. Apesar de um esforço em utilizar as unidades do SI, muitos equipamentos de medidas ainda utilizam as unidades do sistema CGS, no qual o campo é medido em oersted [Oe]. As unidades gauss [G], no CGS e tesla [T] no SI referem-se à indução magnética (B), também denominada de densidade de fluxo magnético.

O comportamento dos campos magnéticos estáticos (**B H**) é descrito nas equações de Maxwell, SADIKU, 2004. As expressões abaixo mostram a relação entre **H** e **B** no SI e no CGS:

$$B = \mu_o(H + M) \quad (\text{SI}) \quad (3.1)$$

$$B = H + 4\pi M \quad (\text{CGS}) \quad (3.2)$$

Nestas expressões, M representa a magnetização de um material na presença de um campo magnético e μ_o ($=4\pi 10^{-7}$ Hm) é a permeabilidade magnética do vácuo. Portanto, no ar, em unidades CGS, o campo magnético é igual à indução magnética e a unidade gauss é numericamente equivalente a oersted. No SI, para transformar um valor em A/m é necessário multiplicar pela permeabilidade magnética do ar (μ_o). A tabela 1 informa a conversão das unidades:

Tabela 1: Conversão das Unidades

Medida	Unidades	Multiplicação	Resultado
Campo Magnético	Oe	79,7	A/m
Indução Magnética	G	0,0001	T

Fonte: IPEM-SP

A seguir, exemplos da ordem de grandeza de campos magnéticos:

Tabela 2: Grandeza de campos magnéticos

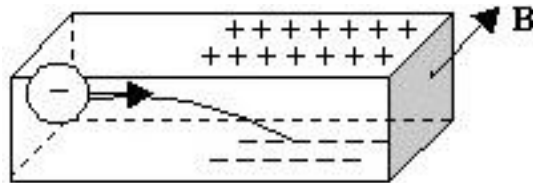
Campos Magnéticos	CGS	SI
Terrestre	0,5 Oe	39,8 A/m
Ímã Neodímio	~3000 Oe	~239 kA/m
Campo no entreferro de um motor	~15000 Oe	~1 MA/m

Fonte: IPEM-SP

3.2 Efeito HALL

O efeito de Hall, descoberto em 1879 por Edwin. H. Hall, ocorre num condutor quando este é atravessado por uma corrente elétrica i e está submetido a um campo magnético B .

Figura 2: Efeito HALL



Fonte: Instituto Federal – UFRGS, 2011

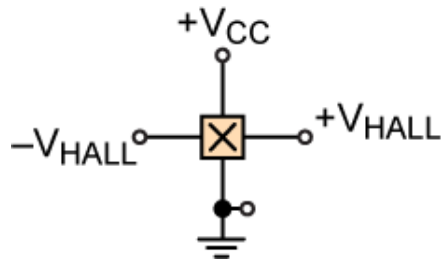
Aplicando-se um campo magnético na direção horizontal, conforme indicado na figura 2, resulta numa força magnética na direção perpendicular ao movimento eletrônico, no sentido de cima para baixo. Esta força fará com que o movimento dos elétrons seja desviado para baixo. Com o tempo, cargas negativas acumulam-se na face inferior, e cargas positivas na face superior. (IF – UFRGS)

O efeito Hall permite a obtenção de dois resultados importantes. Em primeiro lugar, é possível determinar o sinal da carga dos portadores, bastando medir a diferença de potencial entre as superfícies superior e inferior. Em segundo lugar, fornece o valor da densidade de portadores, HALLIDAY, 2004.

Esses dois resultados são de extrema importância na indústria eletrônica, pois permite a fabricação de dispositivos que dependem do tipo, elétrons ou lacunas, e da quantidade de portadores.

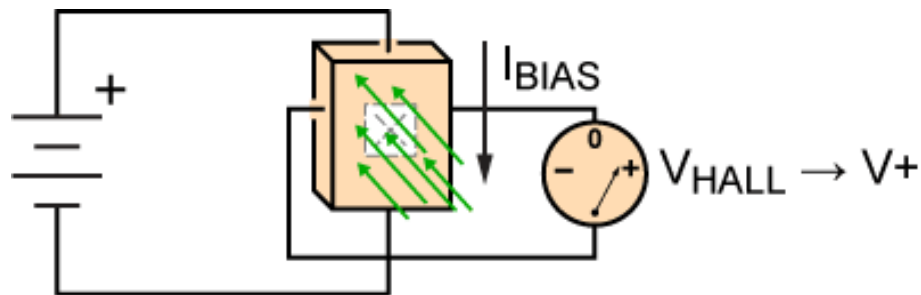
3.3 Transdutor de Efeito HALL A1302

O elemento Hall básico é uma pequena folha de material semicondutor, chamada de elemento Hall, ou *área ativa*, representada na figura 3.

Figura 3: Elemento HALL

Fonte: Allegro Microsystems, 2012

Segundo o fabricante, Allegro Microsystems, nas folhas de dados de seus produtos, uma fonte de tensão constante, como mostrado na figura 4, força uma corrente de polarização constante, I_{BIAS} , a fluir na folha semicondutora. A saída assume a forma de uma tensão, V_{HALL} , medida ao longo da largura da folha. Na ausência de um campo magnético, V_{HALL} tem um valor insignificante. Se o elemento Hall inclinado for colocado em um campo magnético com linhas de fluxo em ângulos retos em relação à corrente de polarização, a saída de tensão muda em proporção direta com a intensidade do campo magnético. Este é o princípio de funcionamento do transdutor de efeito Hall ratiométrico A1302.

Figura 4: Efeito Hall. V_{HALL} induzido.

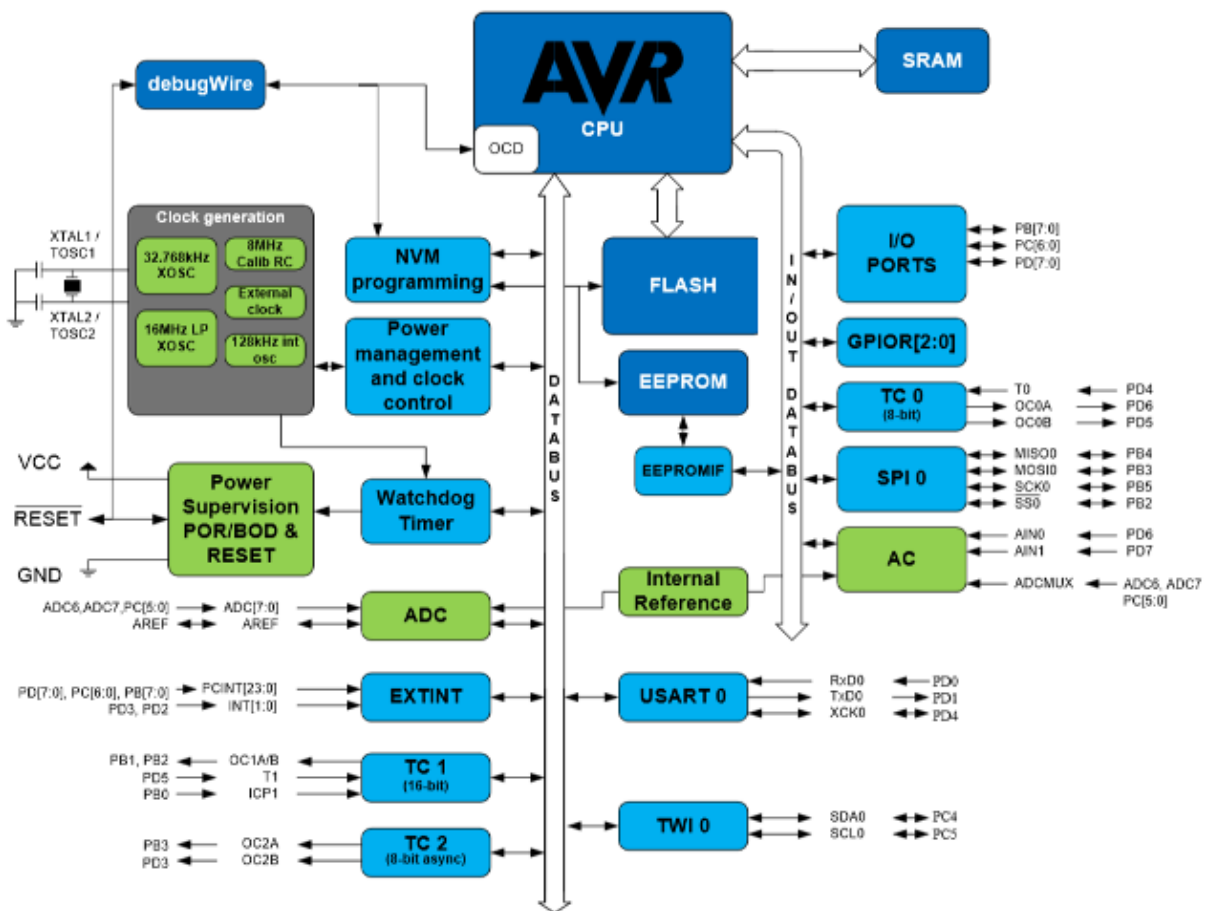
Fonte: Allegro Microsystems, 2012

3.4 Processador ATmega 328/P

o ATmega328P é um microcontrolador de arquitetura avançada RISC da Atmel, de alto desempenho, baixo consumo e otimizado para compiladores C.

Este microcontrolador usa uma arquitetura Harvard, usando memórias e barramento separados para programas e dados. A CPU usa um pipeline de um nível, ou seja, enquanto está executando uma instrução, a próxima instrução está sendo pesquisada (pré-extraída) da memória do programa. Graças a esta técnica de pipeline e barramento separados, o microcontrolador pode executar as instruções em um único ciclo de clock. A figura 5 apresenta o diagrama de blocos do micro controlador.

Figura 5: Diagrama de blocos ATmega328P



Fonte: Datasheet Atmega328P, 2013

A folha de dados do microcontrolador informa que ele possui um banco de memória de uso geral de 32 x 8 bits, com tempos de acesso de um único ciclo de clock. Isso permite que as instruções aritméticas e lógicas (ALU), possam ser realizadas em um único ciclo. Existem seis registros que podem ser utilizados como

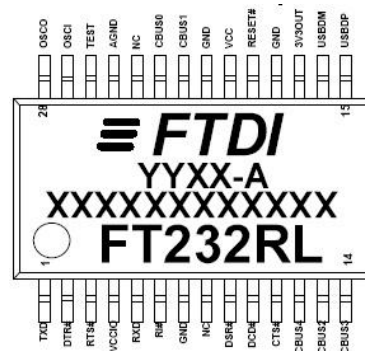
três endereços indiretos para a memória do programa, permitindo cálculos eficientes dos endereços na memória do programa, muito utilizados nos programas C. Estes registros são chamados X, Y, Z e utilizam os endereços 26 a 31.

Ainda segundo a folha de dados, o ATmega328P tem uma memória Flash com 32 Kbytes reprogramável no sistema ou circuito, para o armazenamento do programa. Como todas as instruções AVR são 16 ou 32 bits, a memória Flash está organizada em 16K x 16. Para segurança do software, a memória Flash do programa é dividida em dois espaços: seção inicialização de inicialização (Bootloader) e a seção do programa da aplicação. Estas características tornam este processador como o ideal para uso neste trabalho.

3.5 Conversor FT 232R USB/UART

O FT232R é um chip conversor USB – UART, produzido pela Future Technology Devices, que usa seus pinos TXD e RXD para transmitir dados recebidos pela USB ou para transmitir dados para ela. Desta forma o microcontrolador envia as informações através de seu módulo UART e o FT232R envia ao computador pela porta USB, tornando o protocolo praticamente transparente para o desenvolvimento do protótipo. A figura 6 apresenta o encapsulamento do chip.

Figura 6: Encapsulamento FT232R



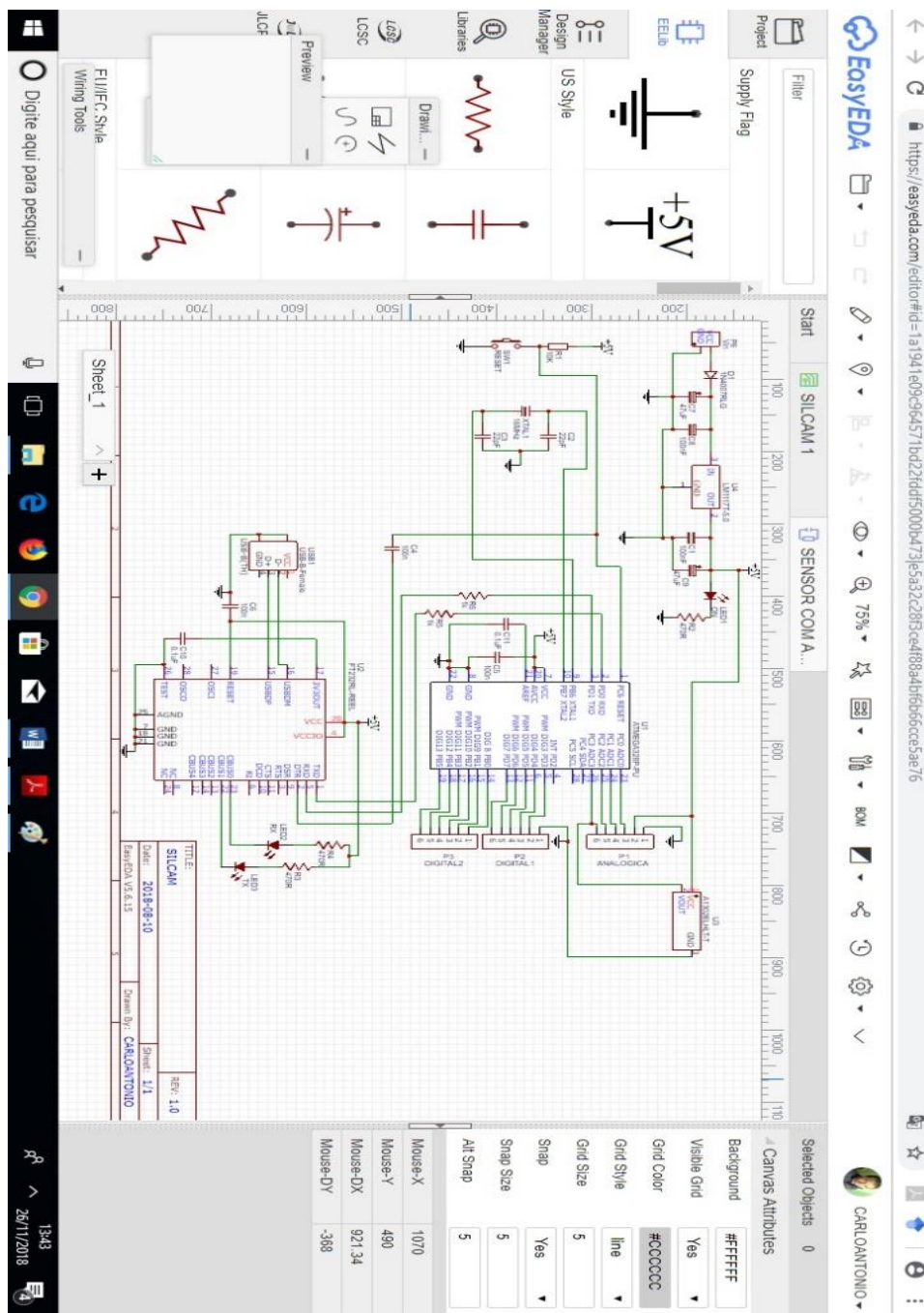
Fonte: Datasheet FT232R, 2015

3.6 Plataforma de desenvolvimento EASYEDA

O EasyEDA é uma suíte de ferramentas baseada na Web que permite que projetistas construam e discutam esquemas, simulações e placas de circuito

impressos. A plataforma permite a criação e edição de diagramas esquemáticos, simulação SPICE de circuitos analógicos e digitais mistos, a criação e edição de layouts de placas de circuito impresso e, opcionalmente, a fabricação. A ferramenta é executada em uma janela do navegador, ela é essencialmente plataforma com diversos aplicativos independentes. A figura 7 apresenta a tela com ferramentas de inserção e ligação de componentes.

Figura 7: Plataforma EasyEDA



Fonte: Autor, 2018

3.7 Ímã de Neodímio

Ímãs de neodímio são feitos de uma liga que contém, entre outros, os elementos de neodímio, ferro e boro (NdFeB). O ímã de NdFeB é o tipo mais forte de ímã disponível no mercado e são fabricados em uma ampla variedade de formas, tamanhos e qualidades. São chamados de ímãs de terras raras em virtude de o neodímio ser um elemento de terras raras, na tabela periódica.

Os neodímios ferro-boro foram desenvolvidos há pouco mais de trinta e quatro anos e pela primeira vez disponíveis comercialmente em 1984. Ímãs de neodímio foram inicialmente desenvolvidos para motores de bobina de voz em discos rígidos de computadores e este mercado ainda é responsável por mais de cinquenta por cento de todos os ímãs de neodímio produzidos. Outras aplicações incluem motores de alto desempenho, motores DC sem escovas, geradores, separação magnética, ressonância magnética, sensores e alto-falantes. Na figura 8, imagem do ímã Neodímio.

Figura 8: Ímã de Neodímio

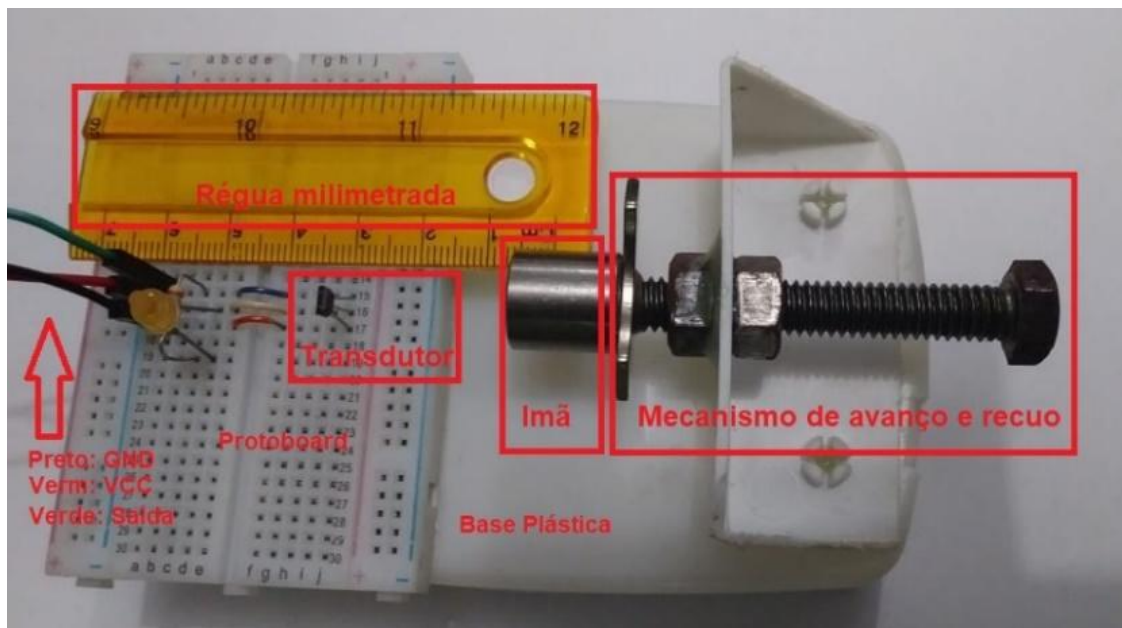


Fonte: Magnetos Gerais – Ímãs e Equipamentos Gerais Ltda., 2016

3.8 Plataforma Longitudinal

A plataforma longitudinal é composta de uma base plástica e um mecanismo que altera a distância relativa do imã, ao transdutor. Foi construída pelo autor para estabelecer as relações tensão/distância na coleta de dados. A figura 9 apresenta a montagem.

Figura 9: Plataforma longitudinal



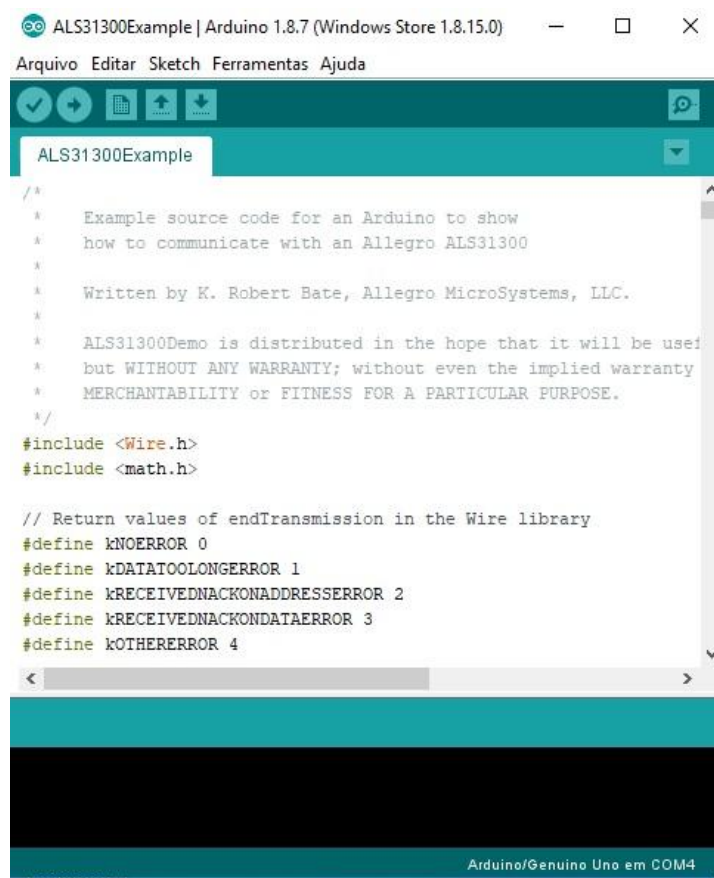
Fonte: Autor, 2018

3.9 IDE Arduíno

A IDE do Arduíno é um ambiente de desenvolvimento integrado. O software é de código aberto facilitando a gravação de códigos e o upload para diversos processadores. Ele é executado no Windows, Mac OS X e Linux. O ambiente é escrito em Java e baseado em outros softwares de código aberto.

Na IDE, há acesso a destaque de sintaxe, correção de erros, inclusão de bibliotecas (conjuntos de funções prontas), monitor serial (usado para se comunicar com a placa) e envio de códigos. Na figura 10 a tela inicial do aplicativo.

Figura 10: IDE Arduino



```
ALS31300Example | Arduino 1.8.7 (Windows Store 1.8.15.0) - □ ×
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
ALS31300Example
/*
 * Example source code for an Arduino to show
 * how to communicate with an Allegro ALS31300
 *
 * Written by K. Robert Bate, Allegro MicroSystems, LLC.
 *
 * ALS31300Demo is distributed in the hope that it will be useful
 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty
 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.
 */
#include <Wire.h>
#include <math.h>

// Return values of endTransmission in the Wire library
#define kNOERROR 0
#define kDATATOOLONGERROR 1
#define kRECEIVEDNACKONADDRESSERROR 2
#define kRECEIVEDNACKONDATAERROR 3
#define kOTHERERROR 4

Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
Arduino/Genuino Uno em COM4
```

Fonte: Autor, 2018

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS

Neste capítulo, será apresentada a sequência de produção de um sistema localizador de fontes geradoras de campo magnético de média intensidade, plataforma com eixo móvel longitudinal e os protocolos de obtenção de dados.

4.1 Sistema Localizador de fontes de Campos Magnéticos

O procedimento de construção do sistema localizador fontes geradoras de campo magnético de média intensidade, foi desenvolvido em três etapas: Simulação do Circuito, Simulação de Hardware, Confeção e Montagem da PCI.

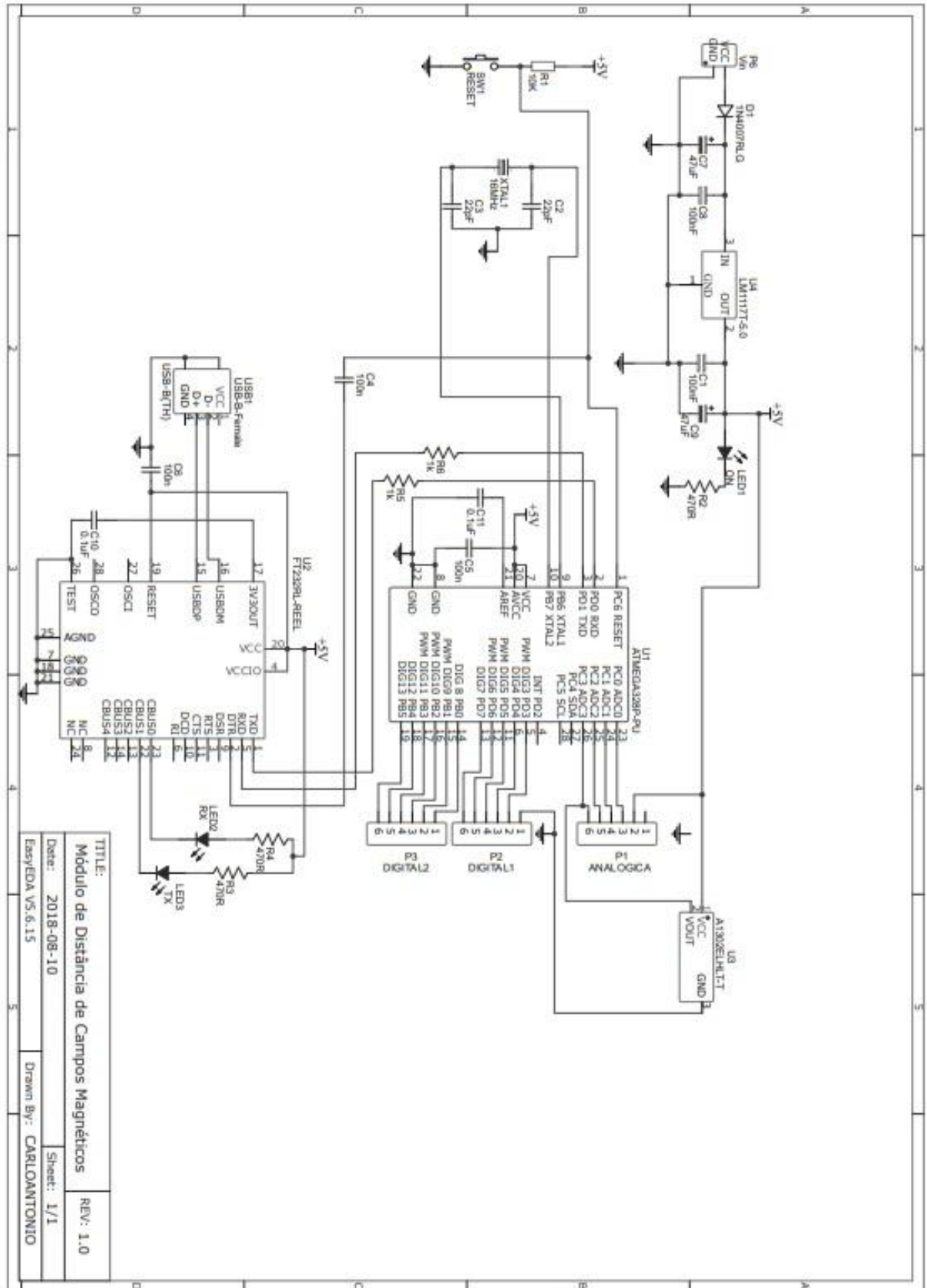
4.1.1 Desenvolvimento do Circuito Eletrônico

O projeto do circuito eletrônico foi desenvolvido na plataforma EASYEDA, utilizando-se a biblioteca *EElib* do editor, inserindo-se os componentes no módulo esquemático e realizando as ligações entre os terminais.

Os principais componentes utilizados foram os descritos no Referencial, acrescidos de um circuito regulador para a fonte, um circuito oscilador e reset para o processador, capacitores de acoplamento e filtragem, circuito indicadores de funções (leds).

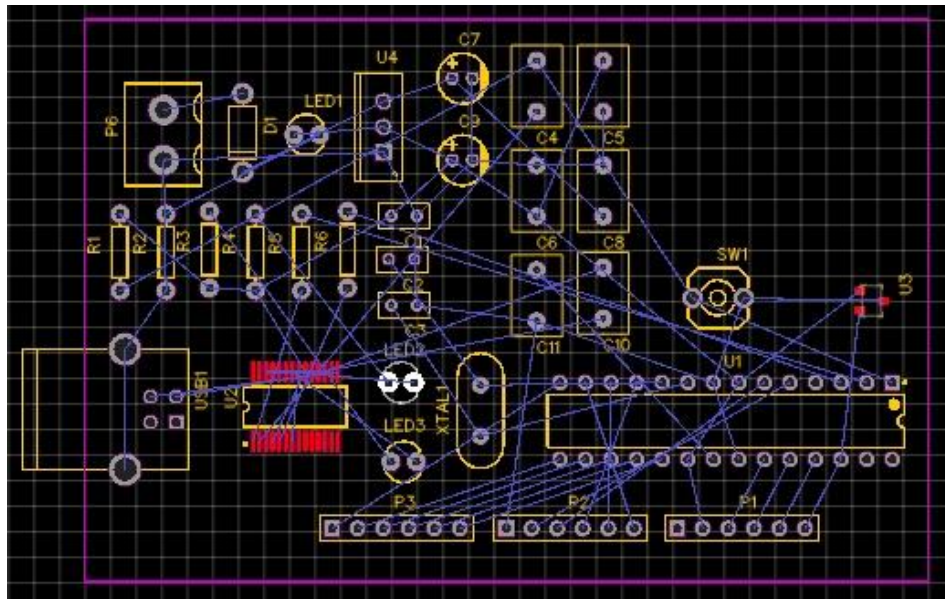
Após a leitura da folha de dados dos componentes, foram realizados os cálculos de tensão e corrente dos circuitos para determinar os valores que atendem o circuito a ser criado. Assim, foi desenvolvido o circuito da figura 11.

Figura 11: Esquema Circuito Eletrônico.



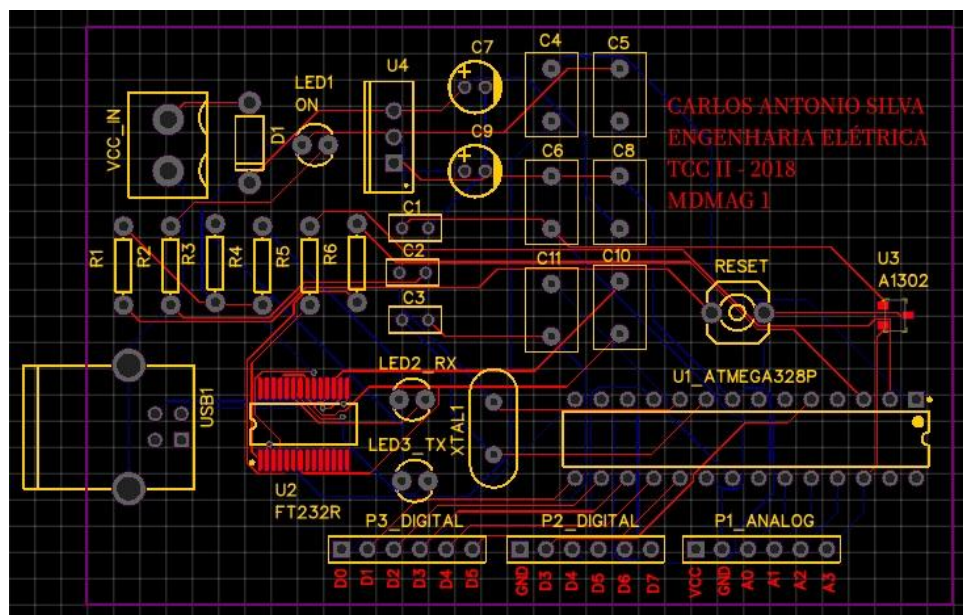
Após a simulação analógica do circuito, procedeu-se ajustes necessários, para otimização do funcionamento do sistema. Seguido da distribuição dos componentes sobre a placa e o roteamento das ligações. Como produto final gerou-se a máscara da PCI 1 (Figura 12 e 13.).

Figura 12: Distribuição do hardware na PCI



Fonte: Plataforma EasyEDA, Autor, 2018

Figura 13: Máscara PCI. Roteamento



Fonte: Plataforma EasyEDA, Autor, 2018

4.2 Construção do Hardware

A construção do hardware ocorreu em duas etapas: Gravação do *bootloader* e montagem do circuito em *protoboard* para simulação e testes de funcionamento.

4.2.1 Gravação de *bootloader*

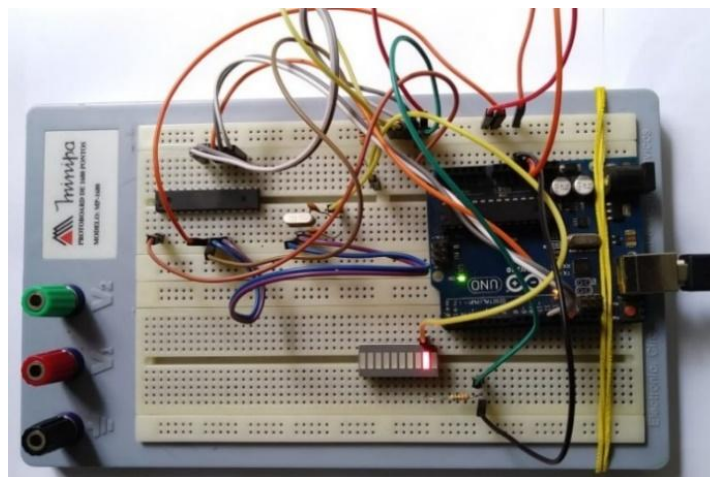
Antes da montagem dos componentes, é necessária a gravação do *bootloader*, no processador. O *bootloader*, inicializa o sistema e o prepara para a carga do aplicativo com instruções de funcionamento.

Os componentes necessários para esses procedimentos, bem como os utilizados para confecção da PCI são relacionados a seguir:

- a) Fonte estabilizada 5V CC
- b) Processador ATM328P
- c) Interface de comunicação USB FT232R
- d) Transdutor HALL racionométrico A1302
- e) Osciladores 16 Mhz
- f) Resistores e capacitores diversos
- g) Arduíno UNO
- h) Protoboard 17,0 x 11,0 cm

A figura 14 é referente a montagem para a gravação.

Figura 14: Gravação do *Bootloader*



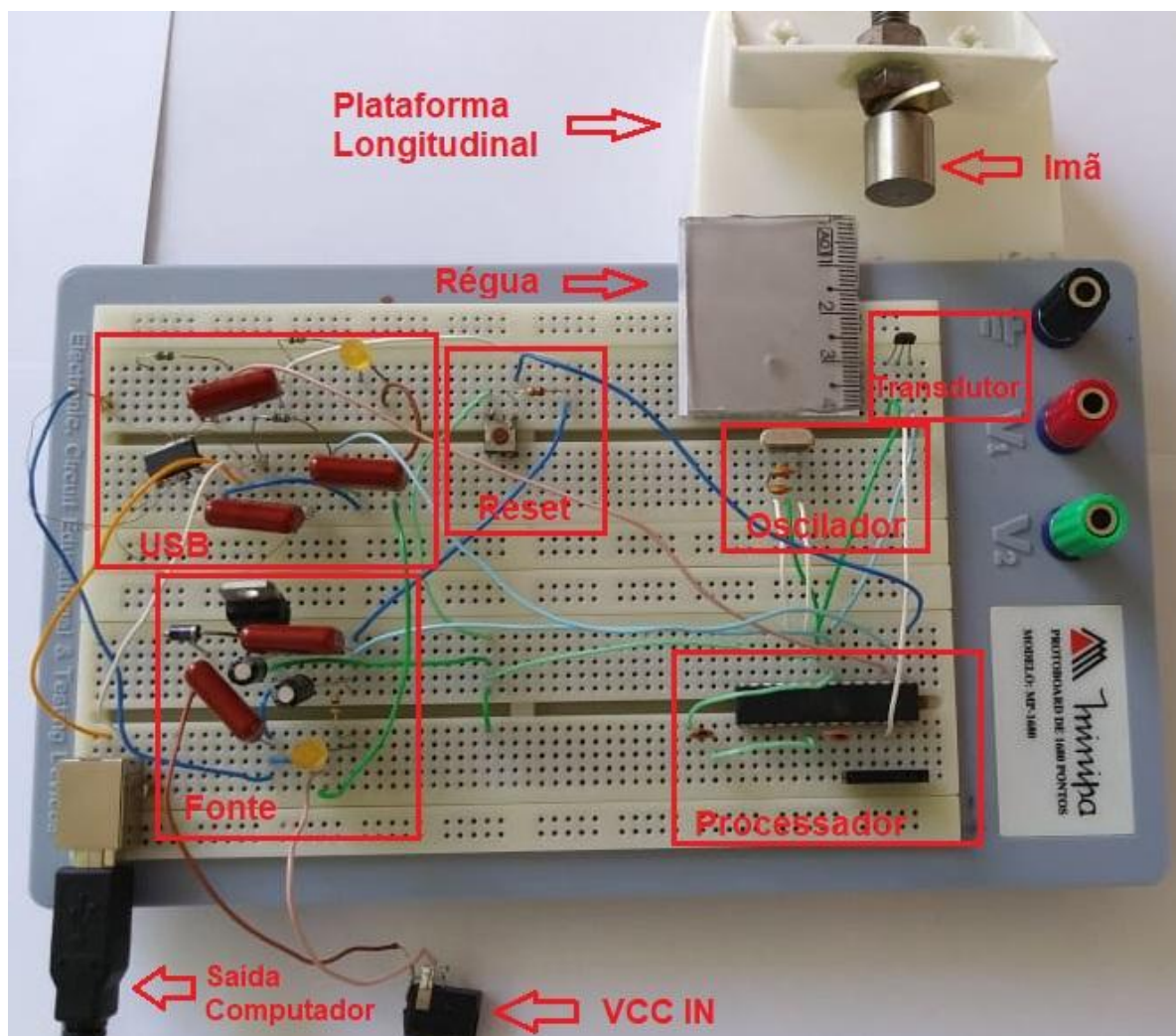
Fonte: Autor, 2018

4.2.2 Montagem do circuito em *Protoboard*

Para os testes finais, o circuito foi montado em *protoboard*, para revisão final. Nesta etapa foram realizados todos os testes como: medidas de tensões, comunicação entre o processador, periféricos e transdutor. Verificou-se o funcionamento do transdutor quanto a sua posição e sensibilidade em relação ao melhor rendimento.

Através da interface IDE via USB, carregou-se na memória do microcontrolador, o aplicativo de leitura e interpretação das tensões de saída do transdutor. Em seguida posicionou-se a plataforma longitudinal com a fonte geradora de campo magnético, na face ativa do transdutor, e deslocando-a horizontalmente, estabeleceu-se as distâncias mínima e máxima de atuação do transdutor. Figura 15.

Figura 15: Sistema montado em *protoboard*



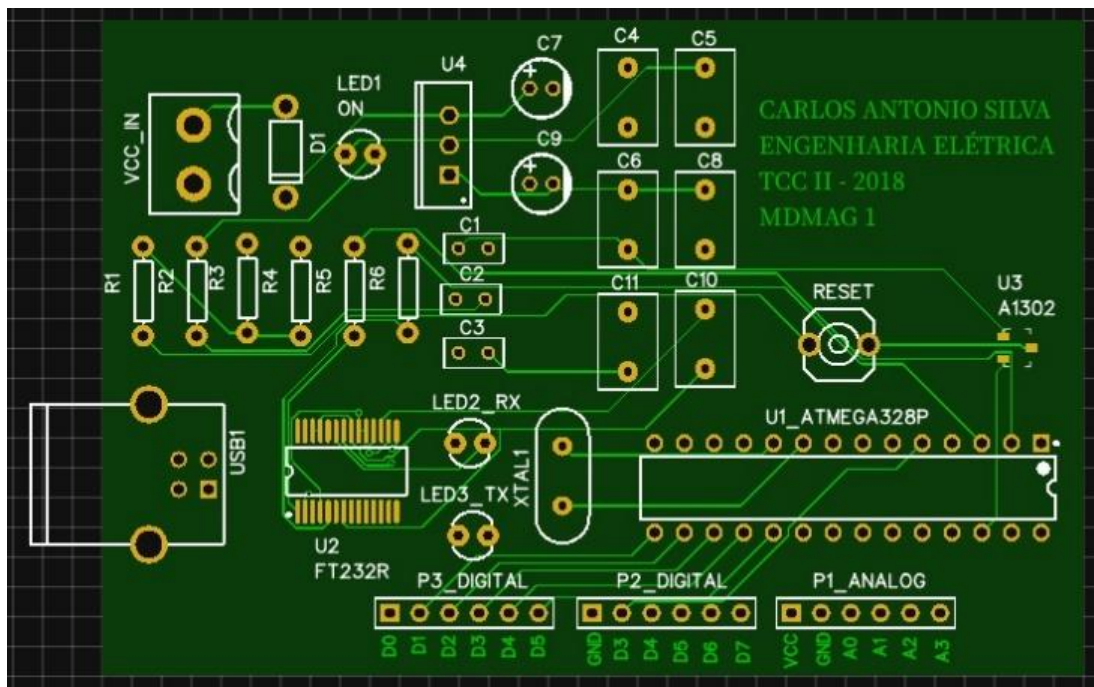
Fonte: Autor, 2018

4.3 Confeção de PCI e Montagem

Após êxito nas simulações, iniciou-se o processo de confecção da PCI. A placa de circuito impresso utilizada nesse trabalho (PCI nº 01 Figura 16) foi confeccionada pela empresa JLCPCB, seguindo as especificações da EASYEDA.

Para montagem dos componentes e conectores na placa de circuito impresso utilizou-se uma estação de solda e seguiu-se o diagrama esquemático do circuito para a disposição dos componentes.

Figura 16: PCI 01

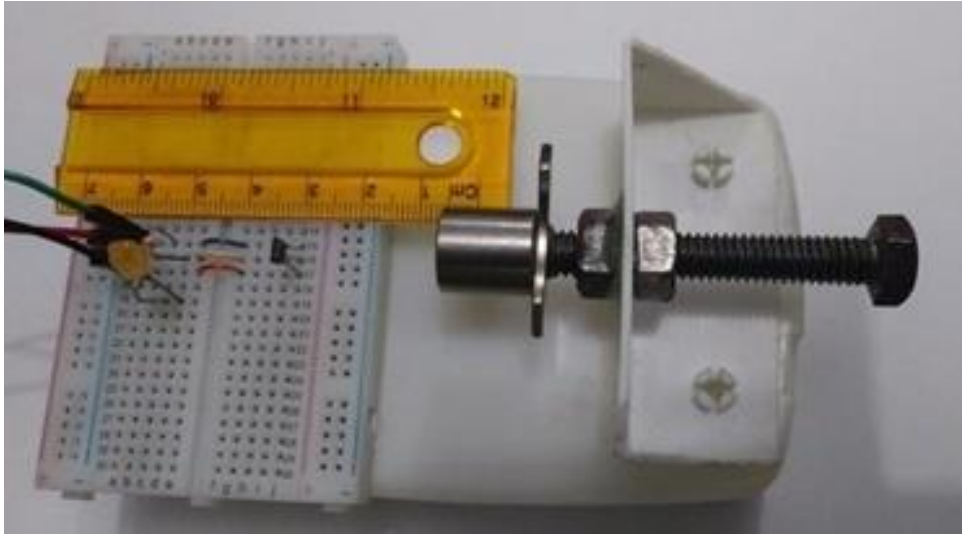


Fonte: EasyEDA, Autor, 2018

4.4 Plataforma Longitudinal

Para a realização dos ensaios, uniu-se uma *protoboard* contendo o sensor *hall*, a uma das extremidades da base plástica da plataforma. Na extremidade oposta da plataforma, fixou-se o mecanismo de controle móvel longitudinal contendo um ímã de neodímio usado como fonte de campo magnético. Figura 17.

Figura 17: Plataforma longitudinal.



Fonte: Autor, 2018

A distância máxima relativa entre a fonte magnética e o transdutor (sensor Hall) é de 30 mm. Para a confecção da plataforma de controle longitudinal utilizou-se os seguintes componentes:

- a) Protoboard de 5,5 x 8,0 cm
- b) Transdutor HALL
- c) Ímã de terras raras (Neodímio)
- d) Régua com divisões em milímetros
- e) Mecanismo de controle de distância
- f) Alimentação 5V CC, GND e saída do sinal

4.5 Coleta Dos Dados

O procedimento de coletas de dados ocorreu em três etapas:

4.5.1 Calibração Do Experimento em Relação ao Polo Sul:

Com o polo sul voltado a face mais sensível do transdutor, deslocou-se o ímã até uma distância que seu campo não mais influenciava a saída do transdutor, tomando-se este valor de referência como 0 (zero).

4.5.2 Calibração Do Experimento em Relação ao Polo Norte:

Com o polo norte voltado a face mais sensível do transdutor, deslocou-se o ímã até uma distância que seu campo não mais influenciava a saída do transdutor, tomando-se este valor de referência também como 0 (zero).

4.5.3 Correlação distância da fonte magnética x tensão de saída

Na realização deste procedimento utilizou-se o Osciloscópio Digital 2 canais, marca MINIPA, modelo MO 2032. Conectou-se a saída do transdutor a entrada V+ do osciloscópio, aterrando a ponta de prova V- no GND da fonte.

Para alimentação do circuito utilizou-se a fonte marca INSTRUTHERM, modelo FA-3030, com saída de 5V, 1A.

Utilizando o mecanismo de controle de distância, para deslocamento da fonte geradora de campo magnético. Variou-se a distância relativa entre a fonte magnética e o transdutor. Aferindo o nível de tensão na saída do transdutor a cada milímetro de deslocamento relativo. Neste experimento, a variação relativa entre a posição do transdutor/fonte de campo magnético é convertida em tensão de saída do transdutor. Os resultados obtidos pelo protocolo experimental são apresentados no Capítulo 5.

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os principais resultados obtidos com o experimento. Primeiro será apresentado os resultados de calibração seguido dos resultados dos ensaios e de funcionamento do sistema.

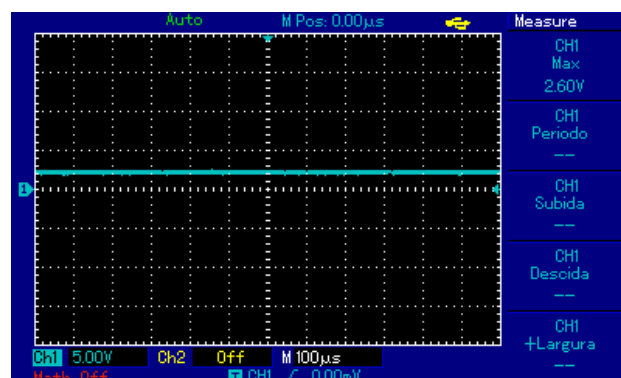
5.1 Resultados da calibração

O princípio de funcionamento do sistema baseia-se fundamentalmente na relação: tensão de saída do transdutor e a distância relativa da fonte geradora do campo magnético.

5.1.1 Calibração livre de fonte magnética pontual.

Na primeira fase de calibração, com o osciloscópio posicionado na saída de tensão do transdutor HALL, colheu-se o padrão de onda referente à tensão de saída exibido na tela do osciloscópio. Nesta fase obteve-se a leitura de 2,60V em um padrão estável na linha de marcação, figura 18.

Figura 18: Calibração livre de fonte magnética



Fonte: Autor, 2018

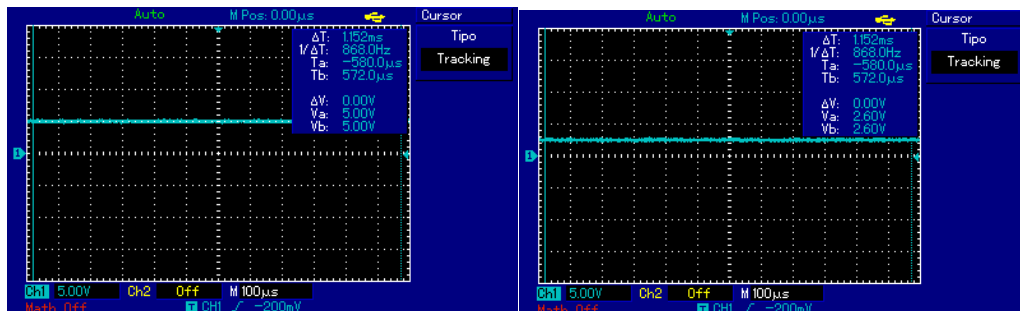
A calibração na ausência de fonte magnética pontual revelou que o campo magnético da terra não possui intensidade suficiente para interferir no padrão de saída do sistema.

5.1.2 Calibração com fonte magnética pontual

Nesta fase fixou-se um ímã cilíndrico de neodímio com circunferência 3 cm e comprimento de 2 cm, (manufaturado por Magnetos Gerais) na plataforma longitudinal e variou-se a distância, fonte de campo/transdutor:

- a) Com a face sul da fonte geradora de campo magnético voltada para o sensor e variando a distância relativa fonte/transdutor de zero até o limite máximo da plataforma obteve-se 5 V para a distância relativa zero e 2,6 V para a distância relativa de 30 mm, figura 19.

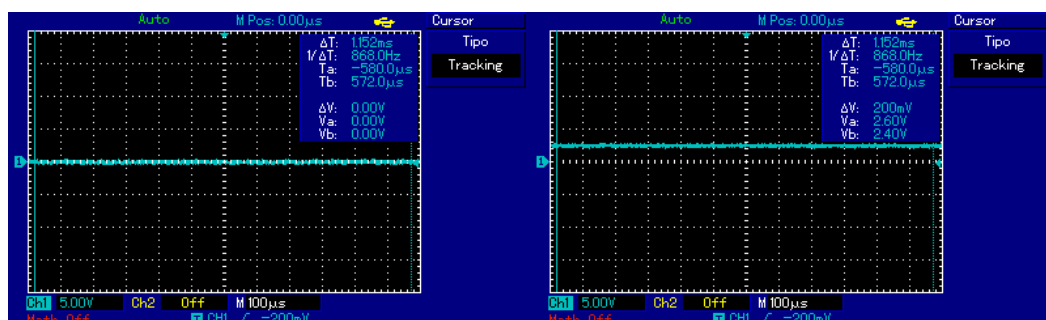
Figura 19: Face Sul



Fonte: Autor, 2018

- b) Com a face norte da fonte geradora de campo magnética voltada para o sensor e variando-se a distância relativa fonte/transdutor de zero até o limite máximo da plataforma obteve-se: zero volts para a distância relativa zero e 2,6 V para a distância relativa de 30 mm, figura 20.

Figura 20: Face Norte



Fonte: Autor: 2018

5.2 Ensaio na presença de fonte magnética

Tendo obtido as relações máximas e mínimas entre tensão e distância. Manteve-se o osciloscópio ligado à saída do transdutor e variou-se a distância relativa, colhendo as leituras de tensão de saída a cada milímetro deslocado. Os resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 3: Relações tensão/distância.

DISTÂNCIA (mm)	SAÍDA PÓLO SUL (V)	SAÍDA PÓLO NORTE (V)
30	2,6	2,6
29	2,6	2,6
28	2,7	2,5
27	2,7	2,4
26	2,8	2,2
25	2,8	2,2
24	2,9	2,1
23	2,9	2,1
22	3,0	2,0
21	3,1	2,0
20	3,1	1,9
19	3,3	1,8
18	3,4	1,6
17	3,5	1,6
16	3,6	1,5
15	3,8	1,4
14	4,0	1,2
13	4,2	1,2
12	4,2	1,0
11	4,3	1,0
10	4,4	0,9
0,9	4,4	0,7
0,8	4,5	0,7
0,7	4,6	0,5
0,6	4,6	0,5
0,5	4,7	0,4

Continuação da Tabela 3:

0,4	4,7	0,2
0,3	4,8	0,2
0,2	4,8	0,1
0,1	5	0
0	5	0

Fonte: Autor, 2018

Baseado na análise dos dados da tabela 3 nota-se que há uma variação de tensão de saída ocorrendo a cada 2 mm.

Com a análise das tensões no osciloscópio, comprovou-se o efeito que o campo magnético tem sobre a corrente induzida no transdutor, onde a saída assume uma forma de tensão V_{HALL} , medida ao longo da pastilha Hall.

O transdutor do sistema é ratiométrico, ou seja, tem sua tensão de saída proporcional ao campo magnético que o atravessa. Com um campo magnético conhecido, pode-se determinar sua distância até a área ativa do dispositivo.

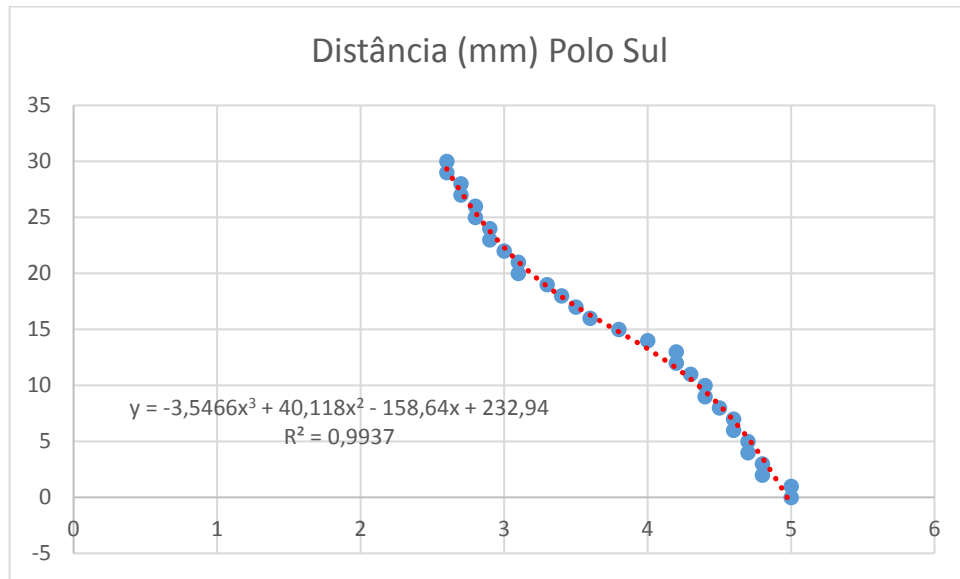
O procedimento realizado na plataforma longitudinal apresentou-se eficaz para a coleta das tensões demonstrando que, a relação tensão/polo/distância, é um método possível de aplicação em módulos de sensores.

5.3 Correlações Tensão/distância

Para uma análise mais detalhada do procedimento experimental os dados da tabela 3 foram utilizados para confecção de dois gráficos de dispersão: o primeiro relativo ao polo sul e segundo em relação ao polo norte.

5.3.1 Análise Polo Sul

Inserindo os dados de tensão e distância, referente a fase do experimento relativo ao polo sul, no programa EXCEL obteve-se o padrão de dispersão apresentado no gráfico 1.

Gráfico 1: Polo Sul

Fonte: Autor, 2018

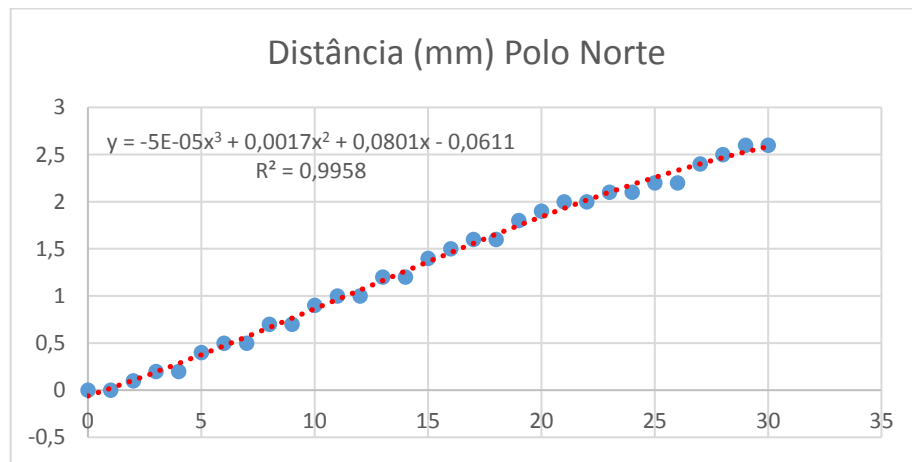
O padrão de dispersão apresenta uma curva descendente, porém não linear, correlacionando tensão/distância. O comportamento da curva de dispersão permitiu criar a equação que se ajusta a tendência dos dados. A equação é uma interpolação das funções dos intervalos de distância do transdutor/fonte geradora do campo magnético.

$$y = -3,5466 \cdot x^3 + 40,118 \cdot x^2 - 158,64 \cdot x + 232,94 \quad (5.1)$$

Onde y é a distância do transdutor da fonte geradora de campo magnético e x o valor de saída da tensão do transdutor.

5.3.2 Análise Polo Norte

Inserindo os dados de tensão e distância, referente a fase do experimento relativo ao polo norte, no programa EXCEL obteve-se o padrão de dispersão apresentado no gráfico 2.

Gráfico 2: Polo Norte

Fonte: Autor, 2018

O padrão de dispersão apresenta uma curva ascendente, porém não linear, correlacionando tensão/distância. O comportamento da curva de dispersão permitiu criar a equação que se ajusta a tendência dos dados. A equação é uma interpolação das funções dos intervalos de distância do transdutor/fonte geradora do campo magnético.

$$y = -5E - 05x^3 + 0,0017x^2 + 0,0801x - 0,0611 \quad (5.2)$$

Onde y é a distância do transdutor da fonte geradora de campo magnético e x o valor de saída da tensão do transdutor.

5.4 Resultados da automação

Utilizou-se a interface IDE ARDUÍNO, para desenvolvimento do aplicativo e carga do microprocessador. Com aplicação das equações obtidas na análise, o processador do sistema foi capaz de automatizar a detecção e medição das distâncias entre o transdutor e a fonte do campo magnético.

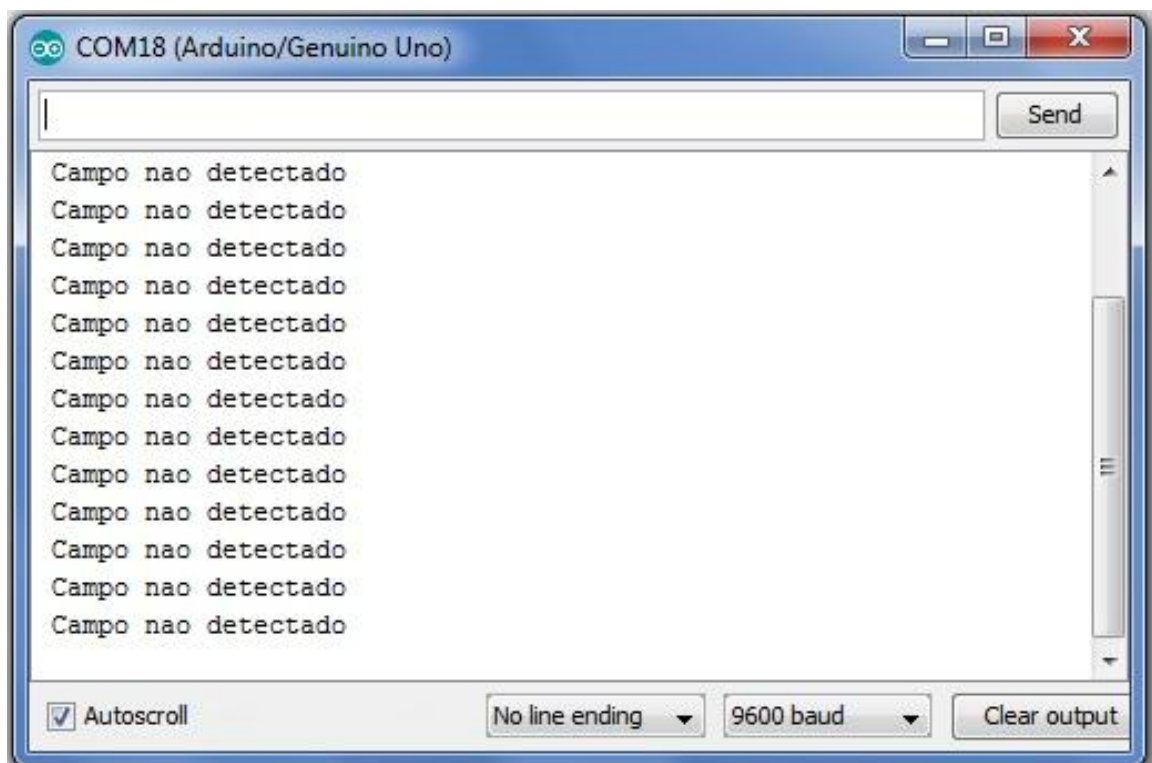
Quando detectado campo magnético ao alcance do transdutor, o sistema retornou, através da porta USB, na função *serial print* da interface IDE, as informações desejadas, sendo:

- a) Polaridade do campo (Sul/Norte)
- b) Distância do transdutor (milímetros)

Estando fora da área de influência de campos magnéticos de média intensidade, o sistema retorna, através da mesma função, a mensagem: “Campo não detectado”.

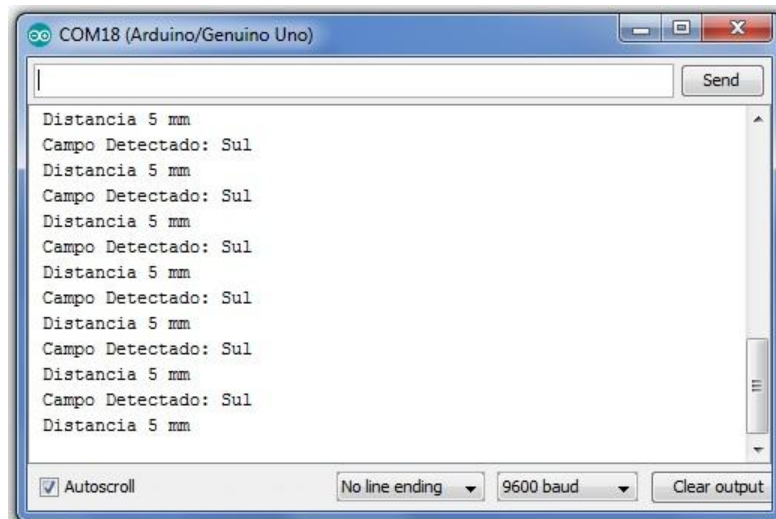
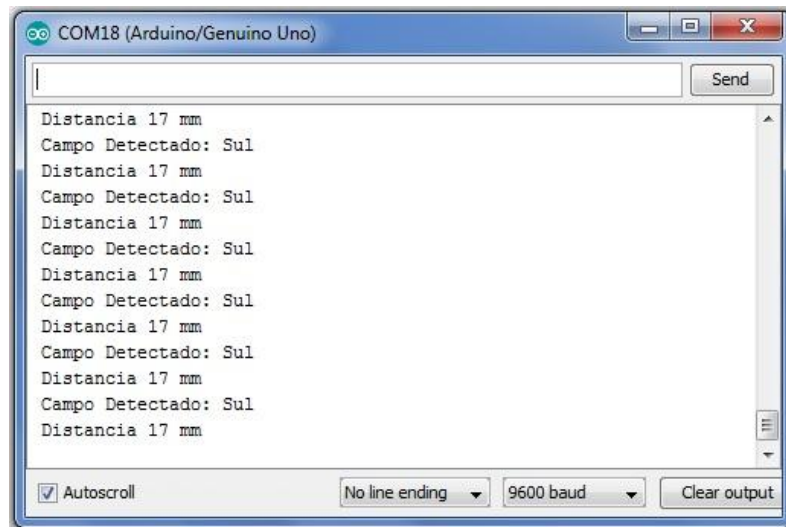
As figuras seguintes apresentam os resultados.

Figura 21: Campo não detectado.



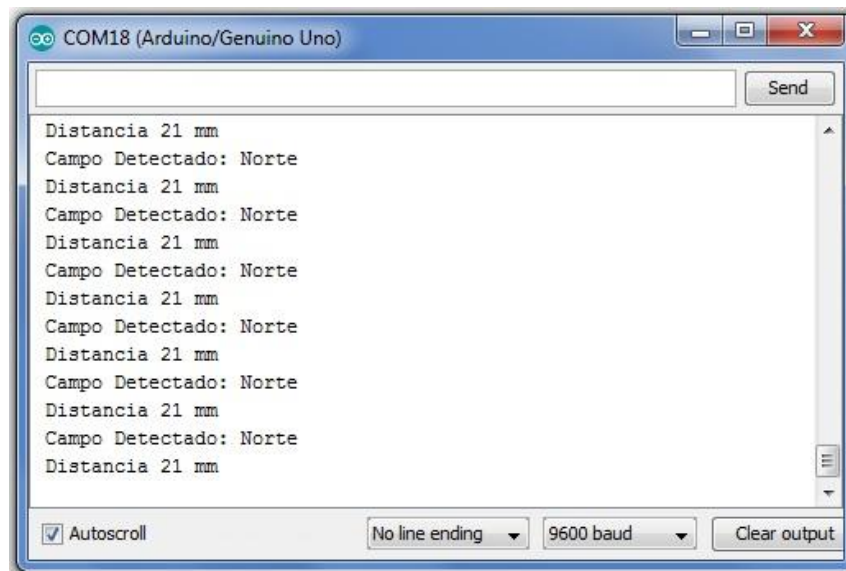
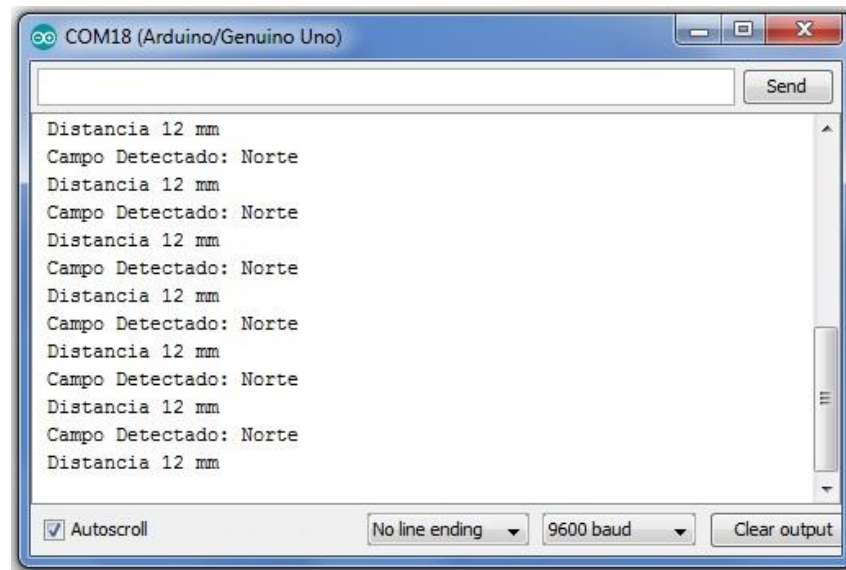
Fonte: Autor, 2018

Figura 22: Campo Sul detectado. Distâncias em milímetros.



Fonte: Autor, 2018

Figura 23: Campo Norte detectado. Distâncias em milímetros



Fonte: Autor, 2018

6 CONCLUSÃO

Com base nos dados de calibração foi possível concluir que a distância máxima relativa entre a origem da fonte de campo magnético e transdutor foi de 30 mm, com o campo magnético do imã, e que, o campo magnético terrestre não possui intensidade suficiente para criar interferência significativa na leitura de saída do transdutor. Nota-se que o aparelho se mostrou eficiente em determinar a polaridade do mecanismo gerador do campo magnético.

Conclui-se que a plataforma é capaz de detectar polos distintos de campo magnético e relacionar a intensidade do campo magnético com a distância relativa entre fonte transdutor. Observa-se que a sensibilidade da plataforma em registrar variações de leitura ficou estabelecida com uma precisão milimétrica.

Como o sistema se mostrou eficiente em detectar fontes geradoras de campo magnético, pode-se afirmar que, a utilização desse equipamento como ferramenta, pode ser empregada em equipamentos que necessitam se orientar por esse tipo de sinal.

Para trabalhos futuros pretende-se preparar este sistema para ser utilizado na detecção de fontes geradoras campos magnéticos alternados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allegro Microsystem Inc. Hall Effect Sensor. Technical Documentation. Disponível em: <<https://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Hall-Effect-Sensor-IC-Publications/Hall-Effect-IC-Applications-Guide.aspx#Q5>> Acesso em: 21 de agosto de 2018.

Eletricidade E Magnetismo O campo Magnético. Capítulo 8: O EFEITO HALL – IF UFRGS. Apostila de Física. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/mod08/m_s03.html> Acesso em: 21 de agosto de 2018

FERNANDES, F.G., Jr., Maitelli, A.L., Lopes, J.S.B., Araújo, F.M.U., Oliveira, L.A.H.G.(coord.). Implementação de controle PID utilizando lógica FUZZY e instrumentação industrial. Natal-RN UFRN. Disponível em: <www.revistaespacios.com/a17v38n38p19.pdf>. Acesso em: 13 de setembro de 2018.

GROOVER, M. P. Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing. 2ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001. 856 p. Introdução aos Processos de Fabricação.

HALLIDAY, D., RESNICK R., KRAINE K. S. Física 3. 5ª Edição 2004 – Cap. 32 Campos Magnéticos, Pg.: 174.

HAYT H. Jr., BUCK J. A. Eletromagnetismo – 8ª Edição 2013. Cap. 7, Pag.: 180

MACHADO, P. M. Os Campos Magnéticos de Imãs. UNB 2008 Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/871/1/2008_AdalbertoPereiraMachado.pdf> Acesso em: 08 de agosto de 2018.

Mundo da Educação – UOL. Física Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/campo-magnetico.htm>> Acesso em 13 de setembro de 2018.

SADIKU M. N. O. Elementos de Eletromagnetismo – 5ª Edição 2013 - Cap. 5 Campos Magnéticos Pg.: 287