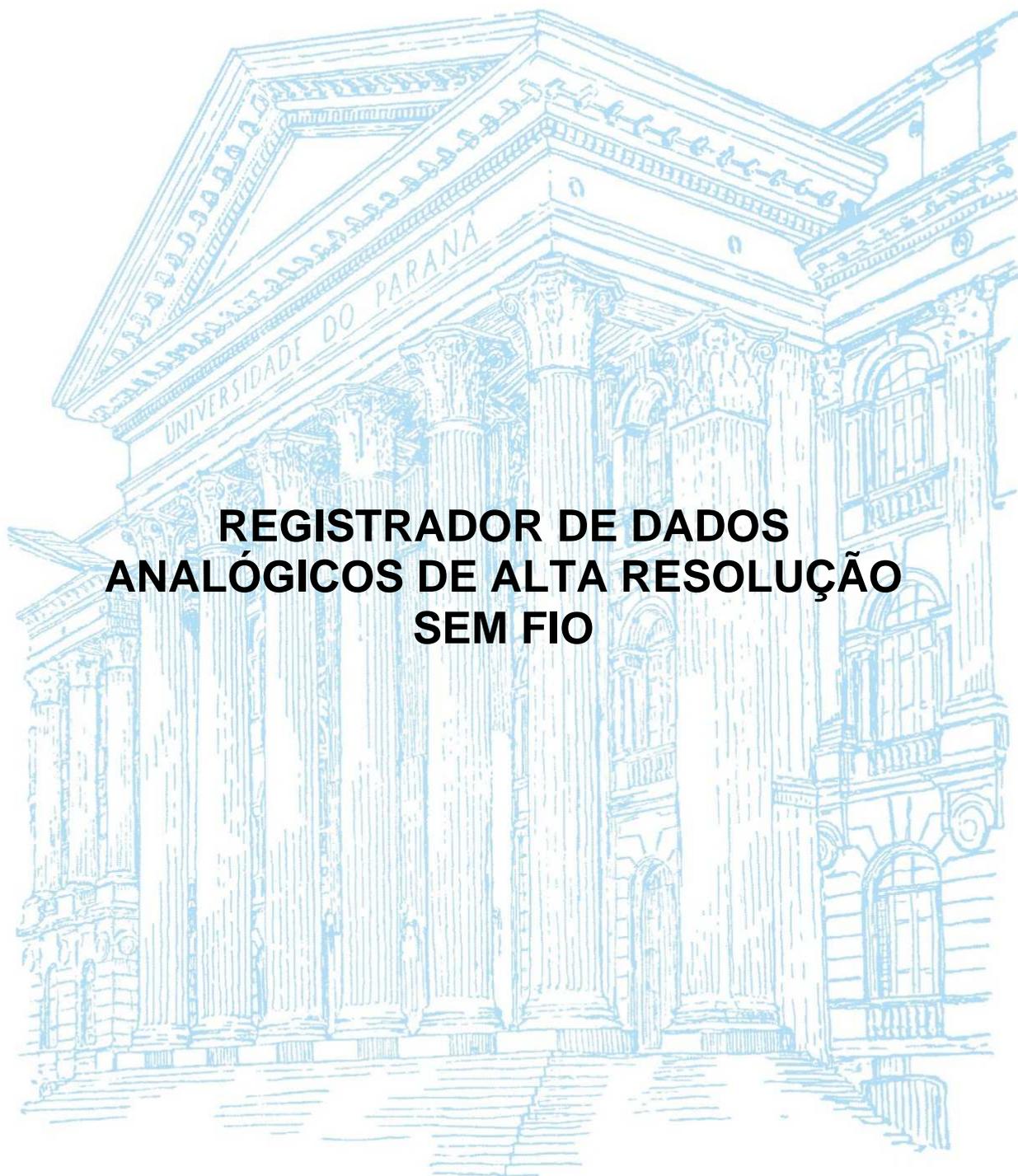


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**FRANCINE RIBEIRO DO NASCIMENTO**



**REGISTRADOR DE DADOS  
ANALÓGICOS DE ALTA RESOLUÇÃO  
SEM FIO**

**Curitiba  
2018**

FRANCINE RIBEIRO DO NASCIMENTO

**REGISTRADOR DE DADOS ANALÓGICOS DE ALTA RESOLUÇÃO SEM  
FIO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Bruno Pohlot Ricobom  
Coorientador: Marlio José do Couto Bonfim

CURITIBA

2018

## TERMO DE APROVAÇÃO

FRANCINE RIBEIRO DO NASCIMENTO

REGISTRADOR DE DADOS ANALÓGICOS DE ALTA RESOLUÇÃO SEM FIO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologias, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

---

Prof. M.Sc. Bruno Pohlott Ricobom

Orientador – Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

---

Prof. Dr. Evelio Martín García Fernández

Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

---

M.Sc. Cristiano Osinski

Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Curitiba, 04 de dezembro de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente a Deus pela força e coragem durante essa longa caminhada.

Agradeço ao meu professor orientador, Bruno Pohlot Ricobom, que teve paciência e pelo suporte no pouco tempo que lhe coube. Assim como pelas suas correções e incentivos.

Ao meu coorientador, Marlio José do Couto Bonfim, que sempre esteve pronto para solucionar questões e dúvidas.

Aos meus pais que não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

Aos amigos e colegas, pelo incentivo e pelo apoio constante, em especial ao Daniel de Andrade Ussuna e ao Renato Vaz Carvalho, colegas de trabalho, que me deram apoio e me ajudaram a concluir este trabalho.

## RESUMO

Neste trabalho será desenvolvido um projeto de registrador de dados de alta resolução sem fio. Os registradores de dados presentes no mercado possuem ou alta resolução ou alta velocidade de amostra, estabelecendo um compromisso entre essas duas características. Isso se deve aos conversores analógicos digitais atuais que se possuem alta resolução apresentam baixa velocidade de conversão. A proposta deste projeto é aliar a alta resolução com a alta velocidade de leitura dos sinais de entrada. Para que isso seja possível, foi projetado um detector de picos para a entrada de sinal de altas frequências aliado a um circuito *sample and hold*, formando assim uma espécie de memória analógica de um pico do sinal. Além do registrador ser capaz de detectar e converter os picos do sinal, foi incluído um detector de médias, que é responsável pela manipulação de sinais de baixas frequências. O registrador de dados proposto é conectado via uma interface USB ao computador e também é capaz de enviar dados via *bluetooth* para um celular ou computador. Um dos grandes diferenciais do projeto são os modos de operação dos detectores, que fornecem uma grande flexibilidade ao uso do registrador.

Palavras chaves: detector de picos, conversor AD, *sample and hold*.

## **ABSTRACT**

In this project will be developed a data logger of high-resolution wireless. The existing data loggers in the market are either of high-resolution or with a high sampling rate, establishing a compromise between these two characteristics. This is due to the current analogic digital converters, which if they have high-resolution they also have low conversion speed. So the propose of this project is to ally the high-resolution with a high speed reading of the input signals. To make it possible, was designed a peak detector for the input signals of high frequencies allied to a sample and hold circuit, forming a sort of analogue memory of the signal peak. In addition to the data logger being able to detect and convert the signal peaks, a average detector was included, which is responsible for the manipulation of low frequencies signals. The proposed data logger is connected via a USB interface to the computer and is also capable of sending data via Bluetooth to a cell phone or computer. One of the great differentials of this project is the operation modes of the detectors, which provide great flexibility to the use of the device.

Key words: peak detector, AD converter, sample and hold.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DETECTOR DE PICO SIMPLES.....	17
FIGURA 2 - SIMULAÇÃO DO DETECTOR DE PICO SIMPLES.....	17
FIGURA 3 - RETIFICADOR DE PICO DE PRECISÃO.....	18
FIGURA 4 - DETECTOR DE PICO DE PRECISÃO.....	19
FIGURA 5 - FILTRO PASSA BAIXAS RC.....	20
FIGURA 6 - CIRCUITO BÁSICO COMUM AOS SAMPLE AND HOLD.....	22
FIGURA 7 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO CIRCUITO DO REGISTRADOR DE DADOS.....	25
FIGURA 8 - DETECTOR DE PICO DE ALTA VELOCIDADE UTILIZANDO O AMPOP AD8034.....	26
FIGURA 9 - ESQUEMÁTICO DA SIMULAÇÃO DO DETECTOR DE PICO DE ALTA VELOCIDADE UTILIZANDO O AMPOP LM6172.....	27
FIGURA 10 - SINAL DE ENTRADA E DE SAÍDA DA SIMULAÇÃO DO DETECTOR DE PICO DE ALTA VELOCIDADE PARA A FREQUÊNCIA DE 100kHz.....	28
FIGURA 11 - SINAL DE ENTRADA E DE SAÍDA DA SIMULAÇÃO DO DETECTOR DE PICO DE ALTA VELOCIDADE PARA A FREQUÊNCIA DE 700kHz.....	28
FIGURA 12 - CIRCUITO DO DETECTOR DE PICO MONTADO EM UMA PROTOBOARD.....	29
FIGURA 13 - FILTRO PASSA BAIXA COM SINAL DE ENTRADA DE 10Hz E $f_c=10\text{Hz}$ .....	30
FIGURA 14 - GRÁFICO DA SIMULAÇÃO DO FILTRO PASSA BAIXA COM SINAL DE ENTRADA DE 10Hz E $f_c=10\text{Hz}$ .....	30
FIGURA 15 - FILTRO PASSA BAIXA COM SINAL DE ENTRADA DE 100Hz E $f_c=10\text{Hz}$ .....	30
FIGURA 16 - GRÁFICO DA SIMULAÇÃO DO FILTRO PASSA BAIXA COM SINAL DE ENTRADA DE 100Hz E $f_c=10\text{Hz}$ .....	31
FIGURA 17 - ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO DO COMPONENTO LFX98.....	36

FIGURA 18 – PCB INICIAL DO CIRCUITO DO REGISTRADOR DE DADOS.....	36
FIGURA 19 - PCB DE ADAPTAÇÃO PARA O PIC18F4550.....	37
FIGURA 20 - IMPRESSORA ADAPTADA PARA TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA PCB.....	38
FIGURA 21 - DIAGRAMA REPRESENTANDO O MENU DE OPÇÕES DO DISPOSITIVO.....	38
FIGURA 22 - GRÁFICO DE EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MODO MONITORAMENTO DE TEMPO.....	39
FIGURA 23 - GRÁFICO DE EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MODO CONTÍNUO.....	40
FIGURA 24 - GRÁFICO DE EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MODO TRIGGER.....	41
FIGURA 25 - GRÁFICO DE EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MODO AMOSTRAS.....	41
FIGURA 26 - FORMA DE ONDA OBTIDA NO OSCILOSCÓPIO PARA O CLOCK E DOUT DO ADS1232.....	42
FIGURA 27 - ESQUEMÁTICO DA SIMULAÇÃO DO MICROCONTROLADOR PIC.....	43
FIGURA 28 - DISPLAY LCD AMOSTRANDO O VALOR MEDIDO SEM IMÃ PRÓXIMO.....	45
FIGURA 29 - DISPLAY LCD AMOSTRANDO O VALOR MEDICO COM A APROXIMAÇÃO EM UMA DAS POLARIDADES DO IMÃ.....	45
FIGURA 30 - DISPLAY LCD AMOSTRANDO O VALOR MEDIDO COM A APROXIMAÇÃO NA OUTRA POLARIDADE DO IMÃ.....	46
FIGURA 31 - DADOS RECEBIDOS DO CONVERSOR AD PARA O DETECTOR DE MEDIAS RECEBIDOS PELO TERMINAL NO COMPUTADOR.....	46
FIGURA 32 - DISPLAY LCD AMOSTRANDO O VALOR MEDIDO NO IMÃ DE MAIOR INTENSIDADE.....	47
FIGURA 33 - DISPLAY LCD AMOSTRAND O VALOR DE LEITURA DO AD PARA O DETECTOR DE PICOS.....	48
FIGURA 34 - FORMA DE ONDA OBTIDA PELO OSCILOSCÓPICO PARA O CIRCUITO DO DETECTOR DE PICO.....	49

FIGURA 35 - ESQUEMÁTICO DO DETECTOR DE PICO E PERIFÉRICOS...	54
FIGURA 36 - ESQUEMÁTICO DO DETECTOR DE MÉDIAS E PERIFÉRICOS.....	54
FIGURA 37 - ESQUEMÁTICO DA PARTE DIGITAL DO REGISTRADOR DE DADOS.....	55
FIGURA 38 - ESQUEMÁTICO DO MICROCONTROLADOR PIC18F4550.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	–	analógico digital
AmpOp	–	amplificador operacional
fc	–	frequência de corte
LAMMI	–	Laboratório de Magnetismo, Medidas e Instrumentação
LCD	–	<i>liquid crystal display</i>
LSB	–	<i>least significant bit</i>
PCB	–	<i>printed circuit board</i>
SH	–	<i>sample and hold</i>
SMD	–	<i>surface-mount technology</i>
SPS	–	<i>samples per seconds</i>
THT	–	<i>through-hole technology</i>
UFPR	–	Universidade Federal do Paraná
USB	–	<i>universal serial bus</i>
Vpp	–	<i>peak to peak voltage</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu$	-	micro
$\omega$	-	ômega

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
1.1 CONTEXTO DO PROBLEMA .....	13
1.3 OBJETIVOS .....	15
1.3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	15
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.4 DIFERENCIAL DO PROJETO .....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	17
2.1 DETECTOR DE PICOS.....	17
2.2 DETECTOR DE MÉDIAS .....	19
2.3 <i>SAMPLE AND HOLD</i> .....	21
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>23</b>
<b>4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO .....</b>	<b>24</b>
4.1 BLOCOS DO CIRCUITO.....	25
4.1.1 DETECTOR DE PICO .....	25
4.1.2 DETECTOR DE MÉDIAS .....	29
4.1.3 <i>SAMPLE AND HOLD</i> .....	31
4.1.4 COMPARADOR .....	32
4.1.5 CONVERSOR AD .....	33
4.2 PROJETO DO LAYOUT DO CIRCUITO .....	35
4.3 CONFECÇÃO DAS PLACAS .....	37
4.4 PROJETO DO PROGRAMA .....	38
4.4.1 MONITORAMENTO DE TEMPO .....	39
4.4.2 MODO CONTÍNUO .....	40
4.4.3 TRIGGER .....	40
4.4.4 AMOSTRAS .....	41
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>
<b>APÊNDICE 1 .....</b>	<b>54</b>
<b>APÊNDICE 2.....</b>	<b>56</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTO DO PROBLEMA

A medição é um processo fundamental para o desenvolvimento humano na engenharia e tecnologia. Esse termo é definido como o processo de determinar experimentalmente um valor para uma característica que possa ser atribuída a um objeto ou evento, permitindo assim que sejam realizadas comparações. Dispositivos capazes de realizar medidas garantindo um valor e uma unidade são chamados de instrumentos de medição. Existem vários tipos de instrumentos de medição, tanto físicos (exemplo: régua, trena) como eletrônicos (exemplo: termômetro digital, cronômetro).

A unidade de medida foi uma das primeiras ferramentas inventadas pelo homem. Primitivamente já realizávamos medições para atividade como moldagem de roupas, troca de alimento ou matérias primas. Inicialmente as unidades eram relacionadas às partes do corpo humano, por exemplo o Côvado que é distância entre o cotovelo e a ponta do dedo médio, muito usada pelos egípcios. Hoje essa distância equivale a 52,3 centímetros.

A balança é um dos primeiros instrumentos de medição que se tem relatos, inventada há 5 mil anos antes de Cristo pelos egípcios. Surgiu da necessidade de realizar medições precisas principalmente para o comércio (VONDER, 2016).

Assim, com a evolução do ser humano novos instrumentos de medida foram sendo necessários. Também com o avanço da tecnologia, foi possível popularizar a eletrônica. Atualmente, dispositivos de medição de dados são muito comuns no dia-a-dia das pessoas. Por exemplo, um termômetro que verifica a temperatura corporal no caso de uma doença ou um sensor de estacionamento que mede a distância entre o carro e o obstáculo. Mais especificamente, para estudantes e profissionais da área de engenharia também é visível o grande uso desses aparelhos; como multímetros, phmetros, medidores de campo eletromagnético, etc.

Antigamente cada dispositivo era projetado e utilizado para um propósito apenas. Os amperímetros mediam corrente, os voltímetros a tensão, etc. Mais

recentemente com a evolução da eletrônica tanto analógica quanto digital e também da diminuição do tamanho dos circuitos de cada dispositivo, foi possível acoplar mais de uma função em um mesmo aparelho. Assim surgiram os multímetros.

Os multímetros têm grande importância na área da engenharia elétrica. Por realizarem medidas de corrente, tensão e resistência (alguns possuem mais funções), passaram a ser itens indispensáveis em laboratórios de engenharia elétrica. Seja para o desenvolvimento de um projeto ou para o conserto de um aparelho, o multímetro normalmente é utilizado no dia-a-dia de estudantes e profissionais da área. Possuem alta resolução de 12 a 22bits, mas baixa taxa de amostragem. Sendo assim, não conseguem realizar medidas de sinais de alta frequência (BONFIM, 2002).

O osciloscópio é outro dispositivo indispensável para estudantes ou profissionais da área de engenharia eletrônica. Este é um instrumento de medição que representa por meio de um gráfico sinais elétricos no domínio do tempo. Apesar de possuir alta velocidade de aquisição, chegando até acima de dezenas de gigahertz apresentam baixa resolução do conversor AD, sendo esta limitada de 8 a 11bits (ALVES, 2007)

Existem também dispositivos que fazem o registro dos dados medidos, sendo esses registrados em uma memória do próprio aparelho ou em um computador. Estes dispositivos são de grande importância para realização de observações de fenômenos físicos, especialmente durante experimentos laboratoriais, pois assim é possível acompanhar passo a passo a evolução de uma grandeza que está sendo monitorada. Há uma grande variedade de registradores de dados no mercado, porém esses possuem uma resolução muitas vezes inferior à de um multímetro convencional. A taxa de amostragem desses aparelhos também é inferior à dos osciloscópios, não sendo possível muitas vezes monitorar o valor de pico desses sinais.

O intuito do dispositivo projetado neste trabalho é de facilitar as atividades de estudantes e engenheiros, pois além de fazer a medição dos dados faz também o registro deles. Então, foi desenvolvido um registrador de dados analógicos de 24 bits de resolução. O registro dos dados é feito no computador o qual recebe esses por meio de um cabo USB ou *bluetooth*. Esse registrador é capaz de aliar a alta resolução (24bits) a capacidade de detectar picos do sinal

sob análise. Além disso, os modos de medida implementados permitem a flexibilidade necessária para o uso no dia-a-dia de um laboratório. Esse é um dispositivo de propósito geral, sendo assim, pode ser conectado a qualquer sonda eletrônica de medição para medir quase todas as grandezas físicas.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo desse projeto é desenvolver um registrador de dados analógicos com um conversor analógico digital de alta resolução. Esse dispositivo deve ser capaz de detectar picos de alta velocidade.

#### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um detector de picos para as altas frequências do sinal de entrada;
- Desenvolver um detector de médias para as baixas frequências do sinal de entrada;
- Projetar um *layout* que vise a minimização de ruídos do conversor analógico digital;
- Desenvolver uma interface homem-máquina por meio de botões que possibilitem fazer as configurações e a escolha dos itens do menu;
- Realizar a comunicação do dispositivo com o computador por meio de um cabo USB ou *bluetooth*.

### 1.4 DIFERENCIAL DO PROJETO

Este projeto tem como diferencial a alta resolução de 24 bits do conversor AD. Hoje existem muitas variedades de registradores de dados no

mercado, no entanto a maioria deles, como por exemplo os da marca Omega, tem cerca de 12 de resolução e tem um custo variado de 3000 a 12000 reais dependendo de suas características (OMEGA, 2018). Nesse projeto o custo total do dispositivo atinge cerca de 250 reais. O conversor AD utilizado será do tipo sigma-delta, que possui uma resolução de 24 bits e um custo acessível. No entanto, esse tipo de conversor AD possui uma baixa taxa de amostragem (BONFIM, 2002), tipicamente menos de uma centena de amostras por segundo. Dessa forma sem medidas adicionais um conversor destes não seria capaz de identificar os picos em um sinal que está sendo monitorado.

Outro importante diferencial do projeto é a capacidade do dispositivo de registrar os picos dos sinais de entrada com frequências de até 1MHz. A maioria dos registradores comerciais, como os da Omega, realizam registro de dados para sinais de até 200kHz de frequência (OMEGA, 2018). Para que o dispositivo consiga realizar medidas dos picos dos sinais de alta frequência, foi implementado um detector de picos conectado à um *Sample and Hold*, constituindo assim uma espécie de memória analógica do pico do sinal. Assim, o primeiro faz a detecção dos valores de pico do sinal de entrada enquanto o segundo espera um sinal do microcontrolador para que possa enviar esses valores ao conversor AD para o início da conversão. Além disso os modos de operação do registrador trazem grande flexibilidade para o usuário.

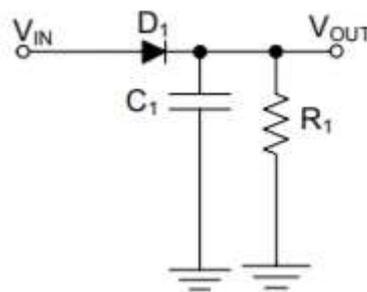
O registrador de dados pode ser conectado ao computador para realizar o registro dos dados por meio de um cabo USB ou *bluetooth*.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 DETECTOR DE PICOS

O circuito detector de picos tem por objetivo detectar a máxima magnitude do sinal durante um período de tempo. Um detector de pico simples pode ser realizado com apenas um diodo, um capacitor e um resistor como demonstrado na FIGURA 1.

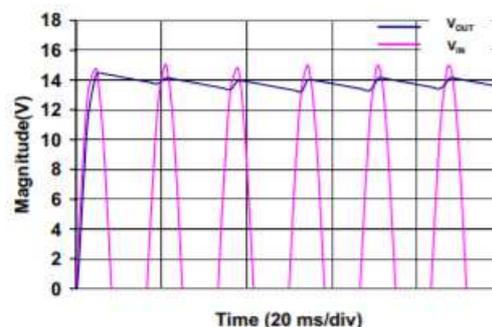
FIGURA 1 - DETECTOR DE PICO SIMPLES.



Fonte: Documento AN1353 do site da Microchip (2011).

Este circuito da FIGURA 2 apesar de detectar mudanças repentinas na amplitude, não consegue medir a máxima magnitude de tensão e também tem um *ripple* significativo como pode ser visualizado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Neste exemplo os componentes usados foram:  $C1 = 1 \mu\text{F}$ ,  $R1 = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $f = 1 \text{ kHz}$  e diodo 1N4148 (DUCU, 2011).

FIGURA 2 - SIMULAÇÃO DO DETECTOR DE PICO SIMPLES.

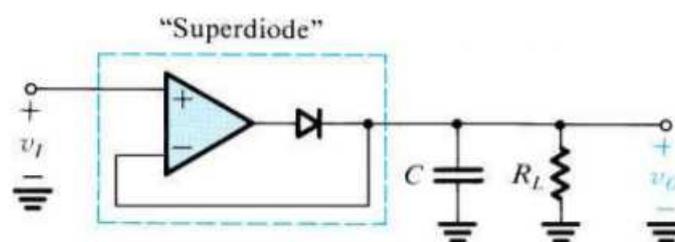


Fonte: Documento AN1353 do site da Microchip (2011).

Este circuito tem um funcionamento simples. No primeiro estágio o diodo conduz carregando o capacitor até o valor de pico de tensão do sinal de entrada. Já no segundo estágio o diodo bloqueia e então o capacitor começa a se descarregar pelo resistor até que um novo ciclo ocorra (KITANO, 2017).

Conforme pode ser visualizado na FIGURA 3, que exemplifica um retificador de pico de precisão, o amplificador operacional (AmpOp) em conjunto com o diodo compõe um super diodo. Para uma tensão de entrada  $v_i$  maior do que a de saída, o AmpOp faz o diodo conduzir e o amplificador age como um seguidor de tensão. Assim a tensão de saída é a mesma da entrada, com o AmpOp fornecendo a corrente de carga do capacitor. Esse ciclo continua até que seja atingido o valor de pico na entrada. Quando o AmpOp recebe na sua entrada não inversora uma tensão menor que a armazenada no capacitor, sua entrada assume o nível de tensão negativa, colocando o diodo em corte. O capacitor possui uma tensão igual à do pico de entrada sendo então descarregado pela resistência da carga (SEDRÁ, 2004). No caso de um detector de pico a resistência da carga deve ser muito alta, de maneira que o capacitor não se descarregue durante um certo tempo.

FIGURA 3 - RETIFICADOR DE PICO DE PRECISÃO.



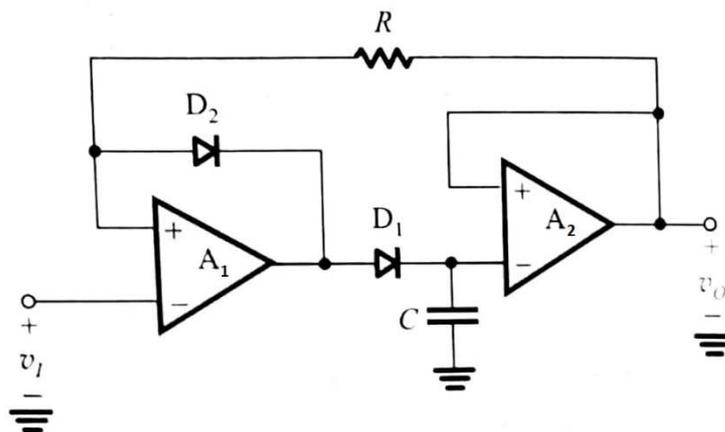
FONTE : Sedra (2004).

Se for necessário reter esse valor de pico na saída por um período longo de tempo, isola-se o capacitor com um buffer, conforme pode ser visualizado na FIGURA 4. O segundo AmpOp aqui utilizado (A2) está conectado como um seguidor de tensão e deve ter alta impedância de entrada e baixa corrente de polarização de entrada. O diodo D1 é o essencial para o funcionamento da retificação do pico, já o D2 previne a saturação negativa e a consequente demora

em o AmpOp responder a um novo sinal de magnitude superior ao armazenado no capacitor.

No período de armazenamento, o amplificador A2 alimenta o diodo D2 com uma pequena corrente por R. Então a saída do A1 é grampeada com o valor da queda do diodo abaixo da tensão de entrada. Mas, se a tensão de entrada  $v_1$  aumentar a ponto de ser maior do que a tensão armazenada no capacitor, que é igual a tensão de saída  $v_o$ , então o A1 percebe uma diferença de potencial positiva em seus terminais de entrada acionando sua saída em direção ao nível de saturação positiva e assim D2 entra em corte. Ao mesmo tempo, D1 entra em condução e o capacitor carrega com um novo valor de pico de  $v_1$ . O circuito retorna então para o período de armazenamento (SEDRA, 2004).

FIGURA 4 - DETECTOR DE PICO DE PRECISÃO.

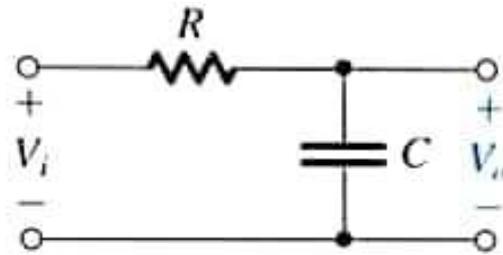


FONTE: Adaptado de Sedra (2004).

## 2.2 DETECTOR DE MÉDIAS

Um filtro é projetado para passar apenas sinais dentro de um intervalo específico de frequência e rejeitar ou atenuar sinais que não estão nessa faixa aceitável. Um filtro passa baixas deixa passar apenas sinais com frequências a partir da corrente contínua até a frequência de corte  $\omega_c$  (SADIKU, 2013). Dessa forma, é possível implementar um detector do valor médio do sinal a partir de um filtro passa baixa, como o da FIGURA 5, com uma frequência de corte específica.

FIGURA 5 - FILTRO PASSA BAIXAS RC.



FONTE: Sedra (2004).

O ganho de tensão para esse filtro no domínio da frequência pode ser visualizado na equação (1).

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{Z_c}{Z_r + Z_c}$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{-j\left(\frac{1}{\omega C}\right)}{R - j\left(\frac{1}{\omega C}\right)} = \frac{1}{1 + j\omega CR} = \frac{1}{1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)} \quad (1)$$

Assim a característica da amplitude é equacionada em (2) (IRWIN, 2000).

$$|\text{ganho de tensão}| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} \quad (2)$$

Idealmente, para frequências abaixo da frequência de corte ( $\omega=0$ ) a amplitude é 1 conforme pode ser visualizado na equação (3).

$$|\text{ganho de tensão}| = \frac{1}{\sqrt{1+1}} = 1 \quad (3)$$

Para sinais de baixa frequência, o capacitor presente no filtro passa baixa RC apresenta alta reatância ( $X_c \gg R$ ). Nesse caso ele apresenta um comportamento que tende a um circuito aberto. Assim, de acordo com a equação 3, sinais de baixa frequência não serão desviados para o terra. Assim a componente contínua de um sinal, que é associada ao valor médio do mesmo, não é retirada da saída do circuito.

Já para sinais de alta frequência, o capacitor apresenta baixa reatância ( $X_c \ll R$ ). Então o capacitor tende a um comportamento de curto-circuito. Dessa forma, sinais de alta frequência são desviados para o terra, não tendo presença na saída do circuito (MUSSOI, 2004).

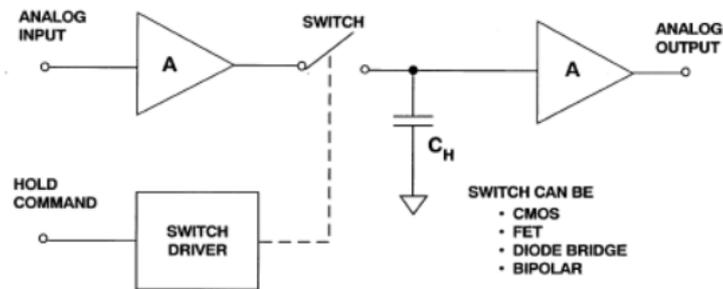
### 2.3 SAMPLE AND HOLD

O *sample and hold* (SH) captura um sinal analógico e o retém durante alguma operação (mais comumente uma conversão analógica-digital). Quando o SH está no modo amostras (*sample*) a saída segue a entrada com uma pequena tensão de offset.

A aplicação mais comum do SH é a de manter a saída em um valor constante durante a conversão do conversor AD. Para a maioria dos conversores AD a entrada não pode variar mais do que 1LSB durante a conversão ou o processo se corrompe (BOMFIN, 2002). Assim, ou se utiliza frequências muito baixas na entrada dos conversores ou é necessário a utilização de um SH para reter sinal de entrada durante cada conversão.

Os SH são também usados em detectores de pico, conversores DA, circuitos de *delay* analógico, sistemas de amostras simultâneas e sistemas de distribuição de dados.

Apesar de todos os detalhes e tipos de SH, todos os dispositivos têm 4 componentes em comum. Um amplificador de entrada, dispositivo de armazenamento de energia (capacitor), buffer de saída e circuito de comutação. Esse circuito básico pode ser observado na FIGURA 6.

FIGURA 6 - CIRCUITO BÁSICO COMUM AOS *SAMPLE AND HOLD*.

FONTE: Analog Devices (2009).

O capacitor é muito importante para o circuito do SH. O buffer amplificador de entrada apresenta uma alta impedância para a fonte de sinal e provê um ganho de corrente para carregar o capacitor. No modo amostra, a tensão no capacitor de *hold* segue o sinal de entrada (com um *delay* e um limite de largura de banda). Já no modo de espera, o *switch* é aberto e o capacitor retém a tensão presente antes que fosse desconectado do buffer de entrada. O buffer de saída oferece uma alta impedância para o capacitor de *hold* para manter a tensão e não permitir o descarregamento prematuro. O circuito de comutação e o seu *driver* formam um mecanismo o qual o SH é alternadamente comutado entre os modos (ANALOG DEVICES, 2009).

### **3 METODOLOGIA**

O presente trabalho compreendeu em uma pesquisa e desenvolvimento de um registrador de dados analógico de alta resolução. Assim, o foco principal constituiu em uma análise e posterior solução de pontos problemáticos no circuito. Nesse caso, podem ser citados como pontos críticos o detector de pico para sinais de frequências até 1MHz e o layout do circuito desenvolvido para minimizar as interferências eletromagnéticas.

## 4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O circuito do registrador de dados foi desenvolvido de acordo com o diagrama de blocos representado na FIGURA 7. Primeiramente foram estudados e desenvolvidos os circuitos de entrada de sinal, sendo eles o detector de pico (para sinais de alta frequência) e o detector de médias (para sinais de baixa frequência). Para uma correta conversão do sinal no conversor AD, foi projetado um circuito com *sample and hold* para cada circuito de entrada de sinal. O objetivo do SH para o detector de pico é formar uma espécie de memória analógica do sinal, que permita a um conversor AD lento converter o pico do sinal. O uso associado do detector de picos com o SH permite implementar o modo de operação de monitoramento da entrada do dispositivo durante um tempo longo, sem a necessidade de ter um capacitor do detector de picos de valor muito elevado, o que permite a esse bloco responder em uma faixa de frequências mais alta.

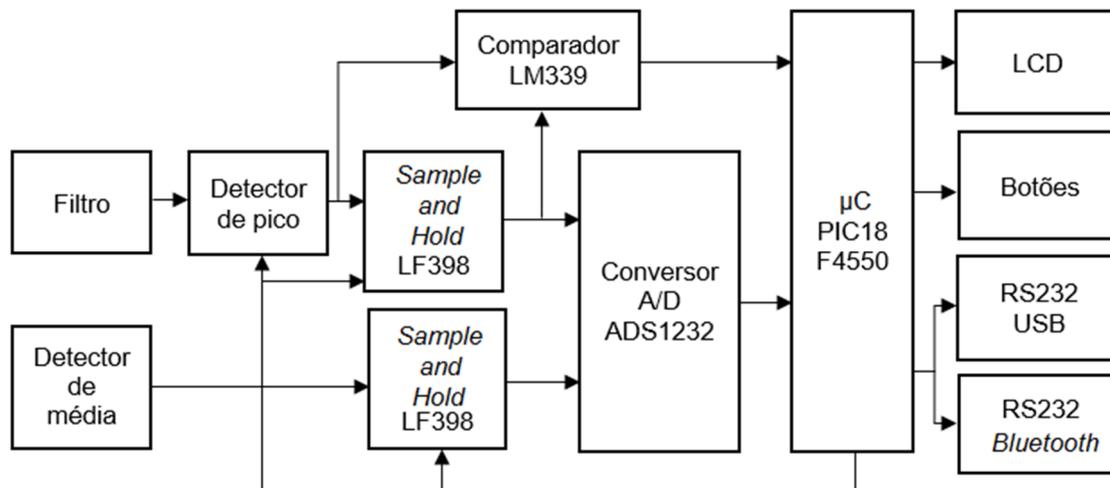
O comparador tem como função informar ao microcontrolador que um valor mais alto do que o que está sendo convertido está disponível. Dessa forma dependendo do modo de operação o *firmware* poderá tomar a decisão sobre qual valor converter.

A princípio o microcontrolador que seria utilizado nesse projeto seria o MSP430G2553. No entanto, devido à queima deste componente e da dificuldade de aquisição de um novo, pois o mesmo não é encontrado no mercado nacional, o projeto foi adaptado para a utilização do PIC18F4550. Infelizmente essa mudança acarretou em alguns prejuízos no projeto, principalmente no tocante aos preceitos de compatibilidade eletromagnética, visto que adaptações foram necessárias para não atrasar ainda mais o cronograma proposto.

No microcontrolador são conectados o comparador, o controle dos módulos, o controle do circuito detector de pico, o display LCD, os 3 botões e os módulos de conversão RS232 bluetooth e USB. O objetivo da conexão do microcontrolador ao detector de pico é para o reset desse que é realizado por meio de um transistor MOSFET canal N. Os botões foram projetados para o manuseio do menu de opções. No display LCD podem ser visualizadas as

opções do menu para escolha dos modos de operação e também os valores das medições que estão sendo realizadas.

FIGURA 7 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO CIRCUITO DO REGISTRADOR DE DADOS.



FONTE: O autor (2018).

## 4.1 BLOCOS DO CIRCUITO

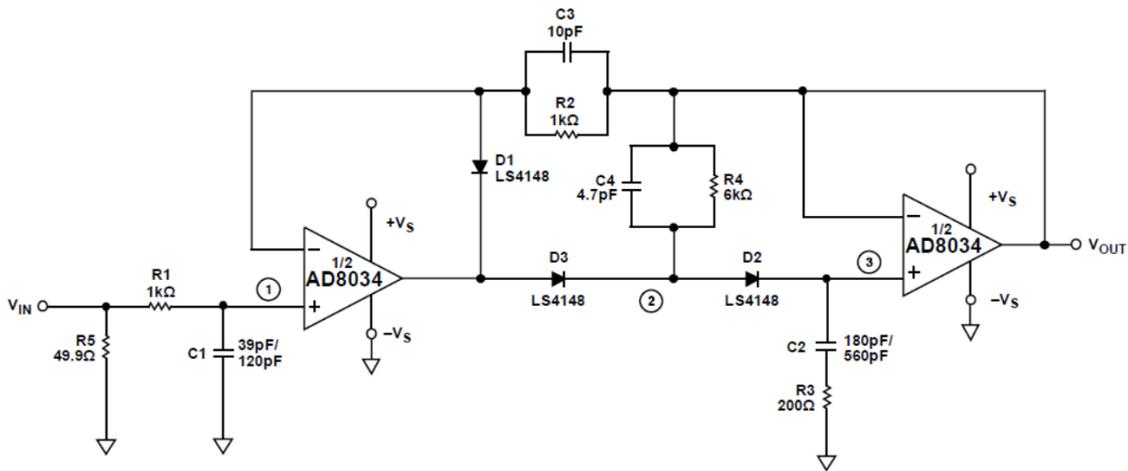
### 4.1.1 DETECTOR DE PICO

O detector de pico é uma das partes críticas do circuito deste projeto. Grande parte dos circuitos tradicionais que detectam pico não são apropriados para sinais de entrada de alta frequência. Eles funcionam corretamente para frequências de até aproximadamente 100kHz.

Uma das características principais para fazer um detector de picos de alta velocidade é a utilização de um ampop com as seguintes características: alto *slew rate*, banda passante de pelo menos o valor da maior frequência que se deseja implementar e boa excursão do sinal. É importante também possuir a possibilidade de operar com alimentação assimétrica e ser rail-to-rail, ou seja, permitir a excursão do sinal de saída em toda a faixa de alimentação. O AmpOp que possui as características que se encaixam nesse projeto foi o AD8034. Este amplificador operacional possui banda passante de 80 MHz, *slew rate* de 80V/us.

A própria fabricante disponibiliza um circuito detector de picos de alta velocidade utilizando esse componente. Esse circuito responde de modo satisfatório a pulsos na entrada de até 300ns, isso é, 1.3MHz. Esse circuito pode ser visualizado na FIGURA 8.

FIGURA 8 - DETECTOR DE PICO DE ALTA VELOCIDADE UTILIZANDO O AMPOP AD8034.



FONTE: Datasheet AD8034 (2008).

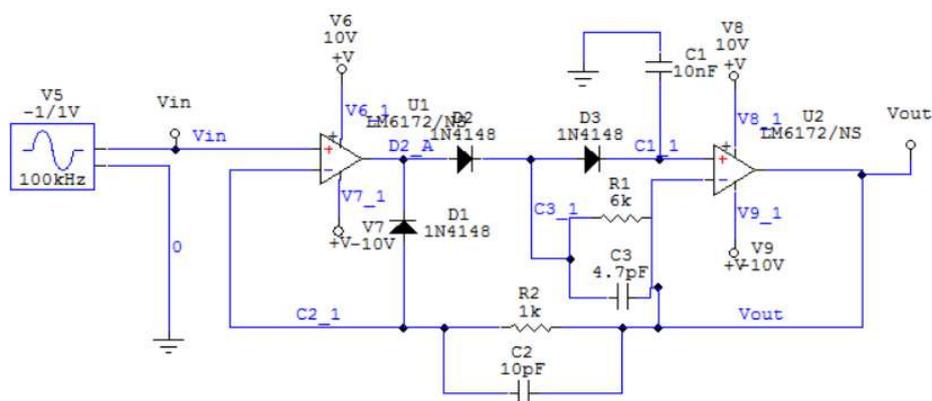
Neste circuito foi utilizado dois amplificadores para que a diferença entre o pico e o nível de entrada atual seja forçado pelo resistor R2 na entrada inversora do primeiro AD8034. Este segundo amplificador atua também como buffer de saída para evitar a descarga do capacitor C2. No caso de uma borda de subida de um pulso no sinal de entrada, o primeiro amplificador compensa a queda nos diodos D2 e D3, forçando a tensão no Nó 3 a ser igual ao do Nó 1. Neste caso, o diodo D1 está no modo de bloqueio e a queda de tensão no resistor R2 é zero. O capacitor C3 atua durante o transitório de um novo pico, fornecendo a carga exigida pela capacitância de entrada do primeiro amplificador e ajudando a manter a mínima queda de tensão no resistor R2 no modo de amostragem. Já na borda de descida os diodos D2 e D3 entram no modo de bloqueio. O diodo D1 entraria em condução se fosse utilizada uma tensão negativa na alimentação do AmpOp. Porém na aplicação do circuito este foi alimentado com uma tensão somente positiva, fazendo com que o diodo D1 não conduza.

O resistor R4 faz a tensão no diodo D2 ser zero, minimizando a corrente de fuga (ANALOG DEVICES, 2008).

O circuito foi simulado previamente no programa CircuitMaker, para verificar se os resultados seriam satisfatórios para o uso neste projeto. O esquemático do circuito para a simulação pode ser visualizado na FIGURA 9. Neste primeiro instante foi utilizado o AmpOp LM6172 que inicialmente era uma das opções para a realização do circuito, mas posteriormente foi descartado por obter desempenho pior do que o AD8034. No entanto no programa apenas havia a possibilidade de adicionar esse primeiro AmpOp para a simulação e como eles tem características relativamente parecidas, sendo principalmente a do *Slew Rate*, e o intuito aqui era principalmente de testar o funcionamento do circuito, aceitou-se o resultado dessa simulação para o segundo AmpOp.

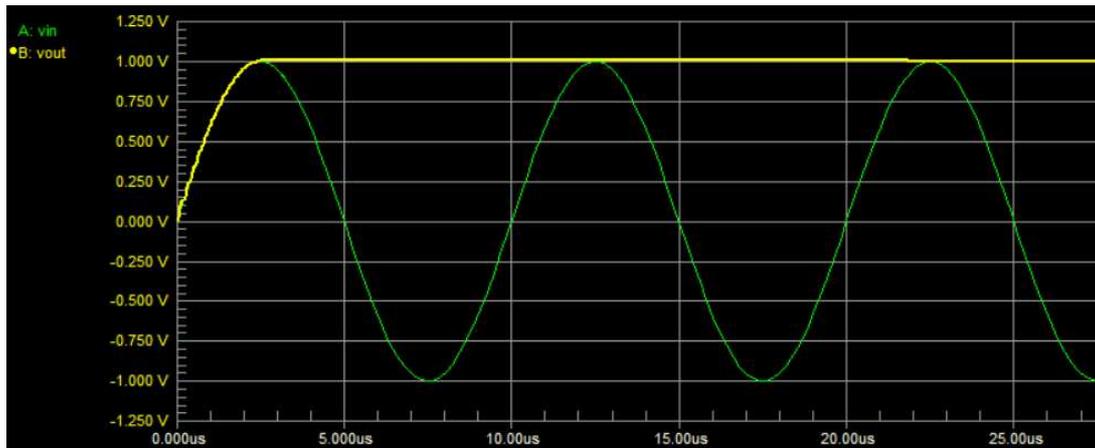
Na FIGURA 10 pode-se observar que para um sinal de entrada senoidal de 100kHz e 1Vpp o sinal de saída acompanha o sinal de entrada até o primeiro pico, permanecendo constante a partir deste valor. Sendo assim, para essa frequência do sinal de entrada o circuito correspondeu perfeitamente as expectativas. Para frequências de até 700kHz o circuito proposto pelo datasheet, com o LM6172, funcionou corretamente, sem *overshoots* ou *ripples* e então considera-se que foi correspondido as expectativas para até essa frequência. O resultado da simulação para essa frequência pode ser visualizado na FIGURA 11.

FIGURA 9 - ESQUEMÁTICO DA SIMULAÇÃO DO DETECTOR DE PICO DE ALTA VELOCIDADE UTILIZANDO O AMPOP LM6172.



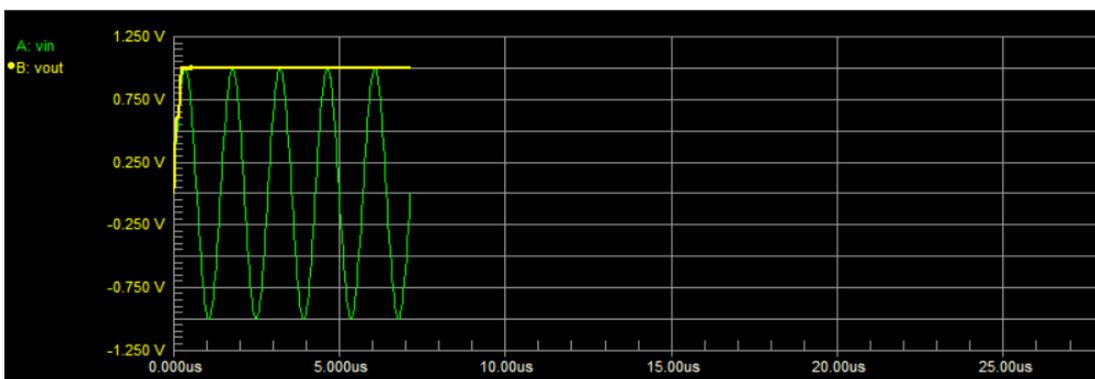
FONTE: O autor (2018).

FIGURA 10 - SINAL DE ENTRADA E DE SAÍDA DA SIMULAÇÃO DO DETECTOR DE PICO DE ALTA VELOCIDADE PARA A FREQUÊNCIA DE 100kHz.



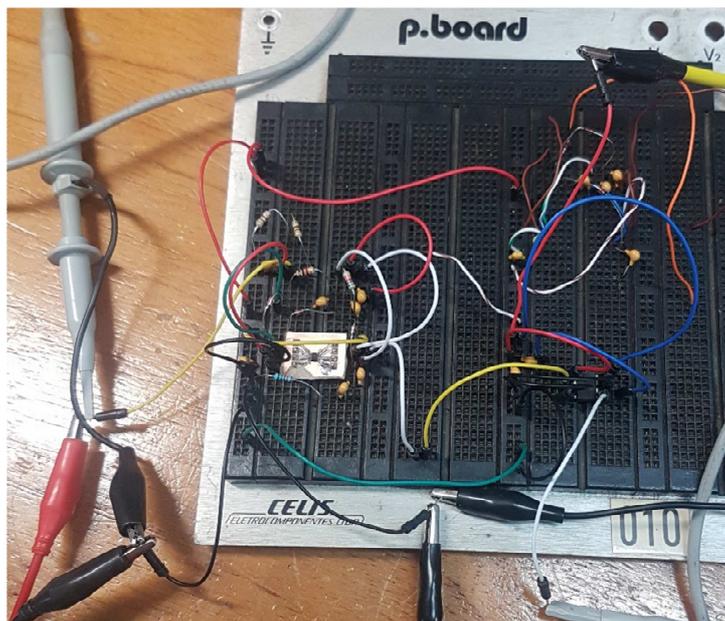
FONTE: O autor (2018).

FIGURA 11 - SINAL DE ENTRADA E DE SAÍDA DA SIMULAÇÃO DO DETECTOR DE PICO DE ALTA VELOCIDADE PARA A FREQUÊNCIA DE 700kHz.



FONTE: O autor (2018).

Após a etapa das simulações foi montado esse mesmo circuito com os mesmos valores de componentes e o AmpOp AD8034 em uma *protoboard* para verificar o seu funcionamento fora de possíveis idealidades. Foi utilizado um osciloscópio como gerador de sinais para o sinal de entrada e para realizar a medição do sinal de saída. Então foi constatado que, apesar das limitações impostas pela *protoboard* e os ruídos captados por esse tipo de montagem, o resultado foi satisfatório para sinais de entrada de até 700kHz. O circuito realizado na *protoboard* pode ser visualizado na FIGURA 12.

FIGURA 12 - CIRCUITO DO DETECTOR DE PICO MONTADO EM UMA *PROTOBOARD*.

FONTE: O autor (2018).

Com as simulações realizadas e o circuito na *protoboard* testado foi possível partir para o desenvolvimento do esquemático para a placa de circuito impresso.

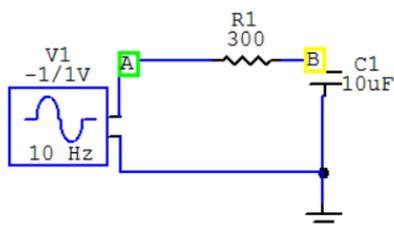
#### 4.1.2 DETECTOR DE MÉDIAS

Neste trabalho foi projetado um detector de médias para as baixas frequências do sinal de entrada. Então foi colocado dois filtros passa baixas para a entrada diferencial de baixa frequência. Esse filtro foi calculado para uma frequência de corte de 10Hz.

Após os cálculos, foram realizadas simulações para verificar a funcionalidade deste filtro, conforme a FIGURA 13 e FIGURA 15 que representam o esquemático do circuito de simulação. Assim, como pode ser visualizado na FIGURA 14, para frequência menores de 10Hz o filtro deixa passar o sinal conforme desejado e explicado na equação (3) da seção Revisão de Literatura. No entanto para frequências do sinal de entrada maiores do que 10Hz o sinal de saída começa a ser atenuado, verificando a eficácia do filtro conforme pode ser visualizado na FIGURA 16.

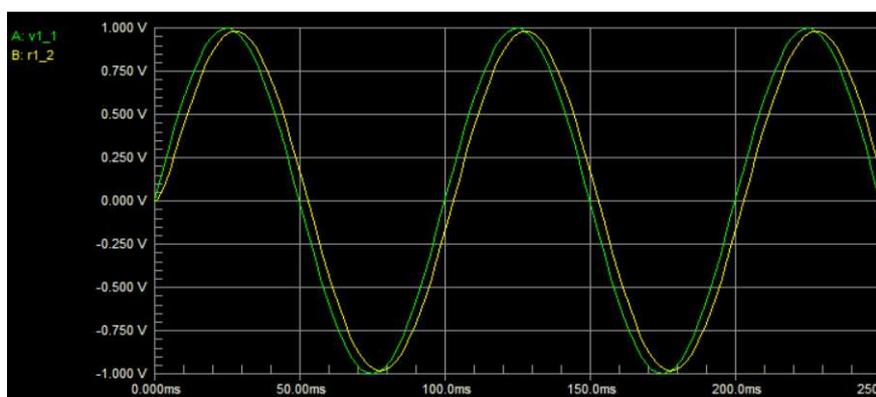
Assim, com as simulações realizadas, foi possível acoplar o detector de médias ao esquemático para posteriormente fabricar a placa de circuito impresso.

FIGURA 13 - FILTRO PASSA BAIXA COM SINAL DE ENTRADA DE 10Hz E  $f_c=10\text{Hz}$ .



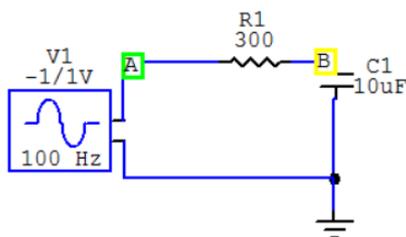
FONTE: O autor (2018).

FIGURA 14 - GRÁFICO DA SIMULAÇÃO DO FILTRO PASSA BAIXA COM SINAL DE ENTRADA DE 10Hz E  $f_c=10\text{Hz}$ .



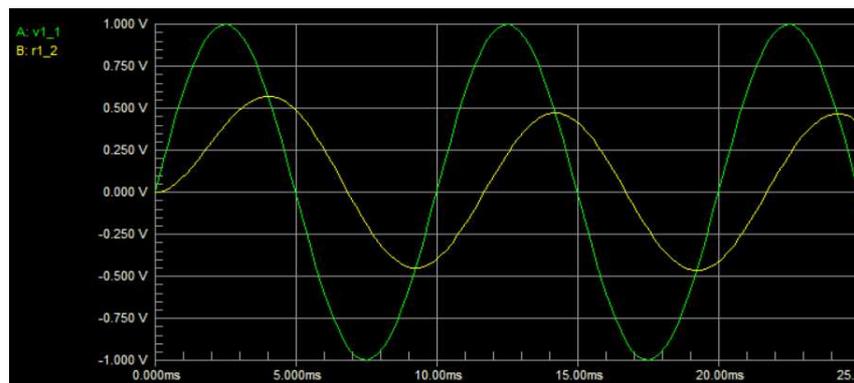
FONTE: O autor (2018).

FIGURA 15 - FILTRO PASSA BAIXA COM SINAL DE ENTRADA DE 100Hz E  $f_c=10\text{Hz}$ .



FONTE: O autor (2018).

FIGURA 16 - GRÁFICO DA SIMULAÇÃO DO FILTRO PASSA BAIXA COM SINAL DE ENTRADA DE 100Hz E  $f_c=10$ Hz.



FONTE: O autor (2018).

#### 4.1.3 SAMPLE AND HOLD

O sinal na entrada do conversor AD não pode variar durante o seu período de conversão. Portanto, o *sample and hold* tem como principal função a de “desconectar” a saída do detector de picos e do detector de médias da entrada do conversor AD. Além disso o SH atua como uma memória analógica para esses sinais.

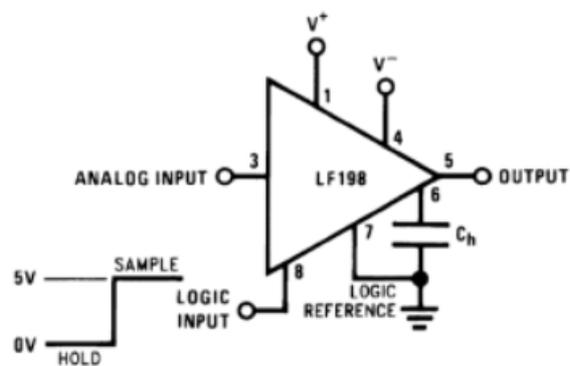
O componente utilizado neste projeto é o LF398 que tem o esquemático representado na FIGURA 17. O tempo de aquisição do LF398 é  $20\mu\text{s}$  quando escolhido um capacitor de *hold* (Ch) de  $0.01\mu\text{F}$ . Então a frequência máxima que este pode amostrar é de 50kHz.

Quando o registrador de dados for utilizado para altas frequências, escolhendo assim a entrada do detector de pico, o *sample and hold* ficará em modo *hold* a maior parte do tempo. O modo *sample* só será acionado quando um pico for detectado pelo comparador que acionara uma interrupção do microcontrolador. Já para baixas frequências, utilizando o detector de médias, o circuito ficará em *hold* somente durante a conversão AD.

O funcionamento básico do *sample and hold* é o carregamento e descarregamento do capacitor de *hold* para obter o mesmo sinal da entrada na saída, mas com um determinado *delay*. Esse sinal de saída pode ser mantido em “espera” durante o tempo necessário, basta manter a entrada *LOGIC* em nível baixo em relação à *LOGIC REFERENCE*, e volta a amostrar quando *LOGIC*

retorna ao nível alto. O pino de *OFFSET* pode ser utilizado para zerar a tensão de offset presente na entrada (TEXAS INSTRUMENTS, 2018).

FIGURA 17 - ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO DO COMPONENTO LFX98.



FONTE: Texas Instruments (2018).

#### 4.1.4 COMPARADOR

O LM339 opera unicamente como um comparador de tensão, comparando a diferença de tensão entre o pino positivo e o negativo. O sinal de saída é uma baixa ou alta impedância lógica (lógica alta com *pull-up*) com base na polaridade diferencial da entrada.

Um simples sinal de entrada pode ser comparado à uma referência ou dois sinais de entrada podem ser comparados entre si.

O comparador neste projeto é apenas utilizado para as altas frequências aqui aplicadas. Na entrada deste são conectados a saída do detector de pico e o seu respectivo *sample and hold*. Já a saída do comparador é conectada ao microcontrolador.

A principal função do LM339 neste projeto é de gerar um sinal que indique ao microcontrolador que um novo pico foi detectado. Dentro do período de conversão do conversor AD, o sinal só será enviado se o novo pico for mais elevado que o anterior.

#### 4.1.5 CONVERSADOR AD

O conversor analógico digital utilizado neste projeto foi o ads1232. Ele é do tipo sigma-delta, o que significa que possui uma resolução alta, mas baixa velocidade. Esse conversor possui 24bit de resolução e dois canais de entrada diferencial.

Esse componente possui duas velocidades de operação, 10SPS ou 80SPS (amostras por segundo). Como um dos intuitos deste projeto é de prezar pela alta resolução do dispositivo, foi escolhido a velocidade de 10SPS pois segundo a TABELA 1 e a TABELA 2, nesta velocidade o conversor possui mais bits livres de ruído do que na velocidade maior. Além disso, o ruído RMS e o ruído de pico a pico também são menores na velocidade escolhida. Para a escolha desta velocidade é preciso deixar o pino *SPEED* do ads1232 em nível baixo.

TABELA 1 - VALORES DE RUÍDO EM RELAÇÃO AO GANHO DO CONVERSADOR AD QUANDO ALIMENTADO EM 5V E VELOCIDADE DE 10SPS.

GAIN	RMS NOISE	PEAK-TO-PEAK NOISE <sup>(1)</sup>	ENOB (RMS)	NOISE-FREE BITS
1	420nV	1.79μV	23.5	21.4
2	270nV	900nV	23.1	21.4
64	19nV	125nV	22.0	19.2
128	17nV	110nV	21.1	18.4

(1) Peak-to-peak noise data are based on direct measurement.

FONTE: datasheet ads1232 (2008).

TABELA 2 - VALORES DE RUÍDO EM RELAÇÃO AO GANHO DO CONVERSADOR AD QUANDO ALIMENTADO EM 5V E VELOCIDADE DE 80SPS.

GAIN	RMS NOISE	PEAK-TO-PEAK NOISE <sup>(1)</sup>	ENOB (RMS)	NOISE-FREE BITS
1	1.36μV	8.3μV	21.8	19.2
2	850nV	5.5μV	21.5	18.8
64	48nV	307nV	20.6	18
128	44nV	247nV	19.7	17.2

(1) Peak-to-peak noise data are based on direct measurement.

FONTE: datasheet ads1232 (2008).

As duas entradas analógicas de sinal foram usadas, uma para o detector de pico (altas frequências deste projeto) e a outra para o detector de médias (baixas frequências). Essas entradas são diferenciais, tendo assim uma entrada

positiva (AINPx) e uma negativa (AINNx). O detector de médias projetado possui entrada e saída diferencial, então a sua saída é conectada normalmente as respectivas entradas. Já o detector de pico é de modo comum e sua saída foi então conectada à entrada positiva e o GND à respectiva entrada negativa, como sugere o fabricante.

Entre os dois terminais de capacitor, foi colocado um capacitor de  $0.1\mu\text{F}$  como sugerido no *datasheet* do componente. Esse capacitor combinado com a resistência interna de  $2\text{k}\Omega$  (RINT) produz um filtro passa baixa com frequência de corte de  $720\text{kHz}$ . O propósito deste filtro é de limitar a banda do sinal de entrada para prevenir de *aliasing* assim como de filtrar os ruídos de alta frequência.

O ads12332 possui duas opções para a utilização do *clock*, sendo com um *clock* externo ou acionando o oscilador interno. Quando a frequência no pino CLKIN/XTAL1 é maior do que aproximadamente  $200\text{kHz}$  o oscilador interno é desligado. Sendo assim, para acionar o oscilador interno é sugerido conectar esse pino ao GND. A princípio foi escolhido a utilização do oscilador interno, mas foi projetado no circuito um espaço para a utilização do *clock* externo, onde pode ser adicionado um cristal oscilador. Como o fabricante explica, para utilizar o *clock* externo, simplesmente se conecta o cristal de  $4.9152\text{MHz}$  entre os pinos CLKIN/XTAL1 e XTAL2.

A conversão dos dados no ads1232 é contínua. Para realizar a conversão analógica digital o conversor necessita que o nível do pino DRDY/DOUT passe de 1 para 0, indicando que o dado está pronto. Em seguida, na borda de subida do SCLK, o DRDY/DOUT passa a ter a função de saída dos dados convertidos, sendo que o primeiro bit é o bit mais significativo. Assim, a cada borda de subida os dados são amostrados. Quando todos os 24 bits foram recuperados, o pino pode ser colocado em nível alto com um SCLK adicional, ficando em nível alto até que um novo dado esteja pronto. É importante que o SCLK tenha um período maior que  $50\text{ns}$  para não causar deslocamento de dados indesejados.

Para alimentar o conversor AD é necessário que os pinos AVDD e DVDD sejam alimentados antes que o pino PDWN passe para nível alto (TEXAS INSTRUMENTS, 2008).

## 4.2 PROJETO DO LAYOUT DO CIRCUITO

O layout principal foi desenvolvido com o intuito de diminuir os ruídos e interferências eletromagnéticas. No entanto, com a ocorrência da troca de microcontroladores foi preciso fazer um circuito de adaptação não seguindo os ideais inicialmente propostos.

Ruído é qualquer sinal elétrico presente em um circuito que não seja o sinal desejado. No entanto, as distorções produzidas em um circuito por causa de não linearidades não são consideradas ruídos a menos que estejam acoplados a outra parte do circuito. Já a interferência é o efeito indesejado do ruído. Ou seja, pode ser uma operação imprópria do dispositivo devido ao ruído. A interferência pode ser eliminada, mas o ruído não. Esse pode apenas ser reduzido até que não cause mais interferências no circuito (OTT,2009).

A placa de circuito impresso principal foi desenvolvida com todos os componentes conectados ao mesmo plano terra. Assim, como a área de terra é grande e está presente em uma grande porção da placa, as correntes de retorno das trilhas de sinal e de comando, apresentam um caminho relativamente pequeno, o que favorece a uma baixa indutância da malha, além de possibilitar a diminuição da indutância parasita, *loops* de correntes menores aumentam a imunidade do sistema a interferências eletromagnéticas e diminuem as possíveis emissões causadas por transitórios (PAUL,2006).

A placa projetada é dupla face. Nas duas faces, foram projetados planos terras. A diferença de potencial entre os dois planos terra pode resultar em um problema de interferência que é relacionado ao loop de terra. Se uma parte do circuito não for conectada ao terra, capacitâncias parasitas podem surgir entre essa parte e o terra (PAUL, 2006). Então, foram realizados vários furos de passagem que os conectam de forma a equalizar o potencial entre os terras.

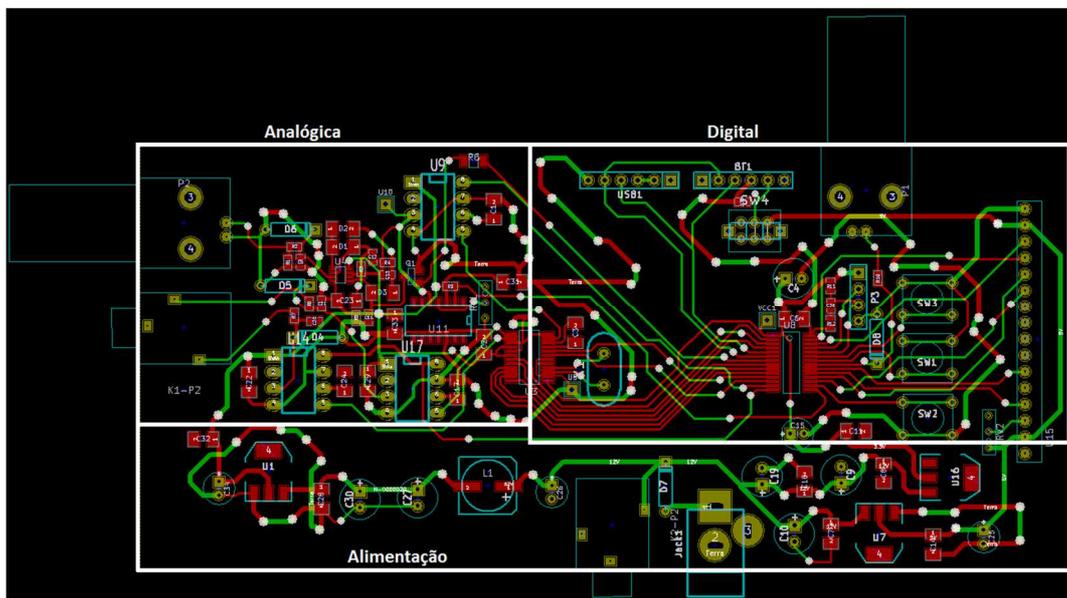
Neste projeto foram utilizados diferentes tipos de circuitos eletrônicos, sendo eles: uma parte digital, uma parte analógica e a parte de alimentação. Para manter cada classe de sinal na sua própria seção para que não contamine as outras, o circuito é particionado em 3 áreas distintas. A intenção é prevenir o acoplamento de sinais espúrios entre as áreas segregadas do circuito. Sinais digitais possuem transições abruptas em seus níveis, o que normalmente causa

ruído a parte analógica de um circuito. Dessa forma além de fazer a separação física entre os circuitos foi utilizado alimentações filtradas e separadas para a parte analógica e para a parte digital.

Os ruídos da fonte de alimentação podem alterar o funcionamento de um dispositivo. Um capacitor *by-pass* foi utilizado entre os terminais de alimentação e o terra com o intuito reduzir o ruído AC da fonte DC. Então, foram projetados filtros passa baixa próximos ao pino de alimentação de cada módulo (RENESAS, 2011).

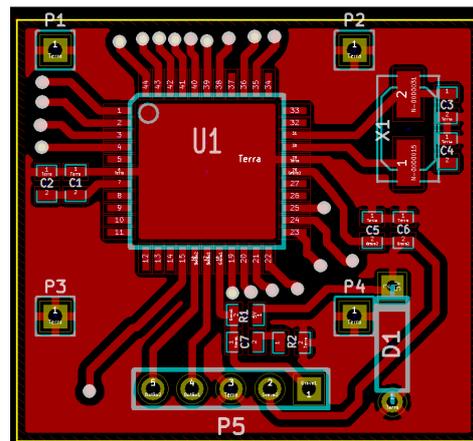
Esses pontos podem ser visualizados na FIGURA 18. No entanto, como explicado anteriormente neste trabalho, foi necessário realizar um circuito de adaptação para a troca do microcontrolador devido a queima do MSP430G2553. Assim, na FIGURA 19 pode ser visualizado o circuito de adaptação para o PIC18F4550. A adição desse circuito prejudicou o layout proposto inicialmente, pois as conexões entre a placa principal e a placa adaptadora foram feitas com fios.

FIGURA 18 – PCB INICIAL DO CIRCUITO DO REGISTRADOR DE DADOS.



FONTE: O autor (2018).

FIGURA 19 - PCB DE ADAPTAÇÃO PARA O PIC18F4550.



FONTE: O autor (2018).

### 4.3 CONFECÇÃO DAS PLACAS

O esquemático do circuito completo foi desenvolvido no programa Kicad e pode ser visualizado no Apêndice 1.

A placa de circuito impresso principal foi desenvolvida pelo método de transferência de calor. Para isso foi utilizado papel fotográfico com o esquemático impresso em uma impressora a laser. A transferência foi realizada em uma impressora adaptada conforme pode ser visualizado na FIGURA 20, onde a parte da rolagem esquenta a 80°C. Após a transferência, foi esperado o resfriamento da placa. A seguir essa foi submergida em água e retirado o papel fotográfico cuidadosamente para não danificar o circuito. Com a tinta transferida para a placa, foi usado percloroeto de ferro para fazer a corrosão do cobre nas partes onde não possui tinta. Quando o processo foi finalizado, foi realizado a limpeza da placa e os furos das vias do circuito nos espaços demarcados. Então pode-se iniciar a montagem do circuito realizando a soldagem dos componentes.

FIGURA 20 - IMPRESSORA ADAPTADA PARA TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA PCB.



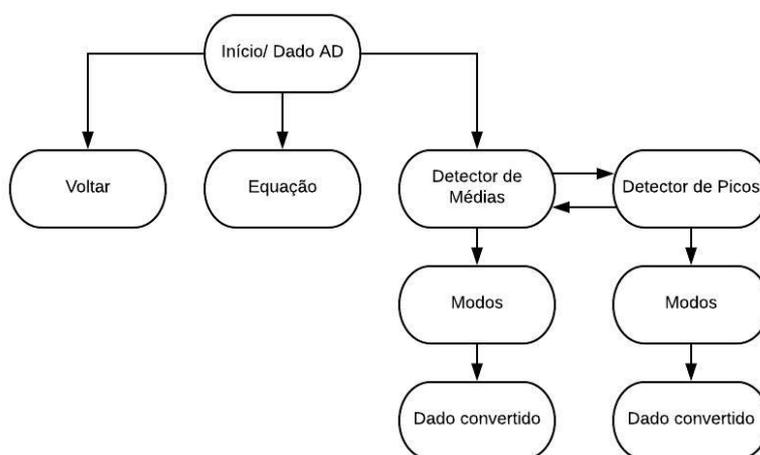
FONTE: O autor (2018).

Para a placa de adaptação, a qual foi realizada para o PIC18F4550, foi utilizado a fresa presente no laboratório LAMMI da UFPR.

#### 4.4 PROJETO DO PROGRAMA

Durante o desenvolvimento do programa do dispositivo, foi projetado um menu de opções para ser visualizado e acessado pelo display LCD e a partir dos botões. Esse menu foi realizado de acordo com o diagrama simplificado da FIGURA 21.

FIGURA 21 - DIAGRAMA REPRESENTANDO O MENU DE OPÇÕES DO DISPOSITIVO.



FONTE: O autor (2018).

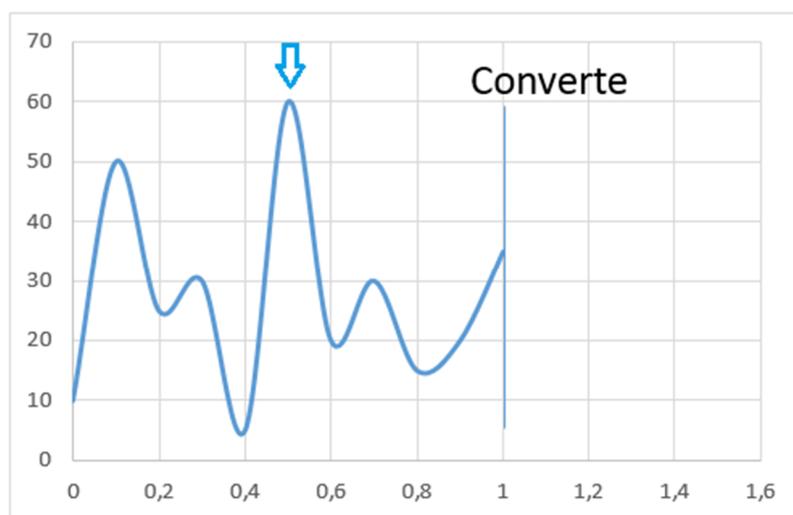
O registrador de dados deste projeto contém 4 modos de operação. Esses modos foram estudados e programados para que melhor se aplicassem a cada função do dispositivo. Para as altas frequências deste projeto todos os 4 modos descritos aqui podem ser utilizados. No entanto, para as baixas frequências (detector de médias) apenas o modo de amostras e modo trigger estão disponíveis. A seguir são expostos e explicados cada modo.

O programa desenvolvido para o funcionamento dos modos de operação e para o conversor AD interno do microcontrolador encontra-se no APÊNDICE 2.

#### 4.4.1 MONITORAMENTO DE TEMPO

Essa opção só pode ser selecionada quando utilizada com o detector de picos (altas frequências). Neste primeiro modo de monitoramento de tempo o dispositivo fica monitorando durante 1s e então detecta o pico deste sinal amostrado e envia para o conversor AD. Conforme pode ser visualizado na FIGURA 22 no tempo de 1s o pico detectado em 0,5s é enviado para conversão.

FIGURA 22 - GRÁFICO DE EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MODO MONITORAMENTO DE TEMPO.

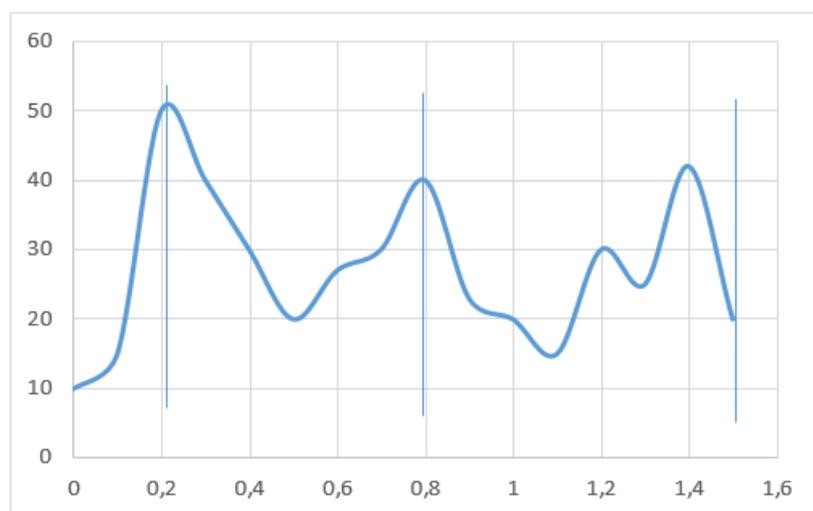


FONTE: O autor (2018).

#### 4.4.2 MODO CONTÍNUO

Esse modo também é exclusivo do detector de pico. Se a opção do segundo modo for escolhida, modo contínuo, o dispositivo monitora o tempo inteiro e a cada pico detectado pelo detector de picos o sinal de tensão deste é enviado ao conversor AD para converter. A FIGURA 23 representa o gráfico de exemplo desse modo, a cada pico detectado dentro de um certo período de tempo o sinal é enviado para conversão.

FIGURA 23 - GRÁFICO DE EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MODO CONTÍNUO.

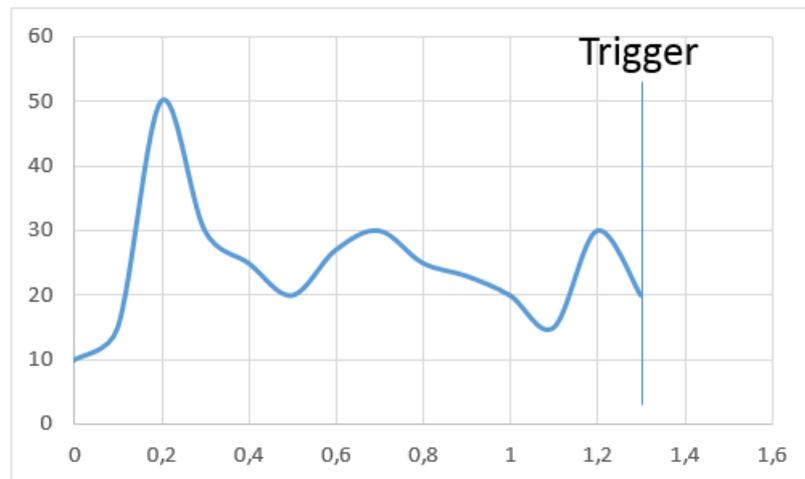


FONTE: O autor (2018).

#### 4.4.3 TRIGGER

O modo trigger é um modo de sincronismo com um dispositivo externo. Assim, quando esse estiver devidamente conectado a entrada bnc respectiva do trigger esse modo pode ser selecionado. O detector de picos ou o detector de médias, dependendo de qual for escolhido para receber o sinal de entrada, amostra o sinal de entrada até que um sinal de sincronismo (trigger) é enviado pelo dispositivo externo, então o valor nesse instante é enviado para conversão. Na FIGURA 24 está representado o gráfico de exemplo desse modo, quando o trigger externo é detectado, o valor é convertido.

FIGURA 24 - GRÁFICO DE EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MODO TRIGGER.

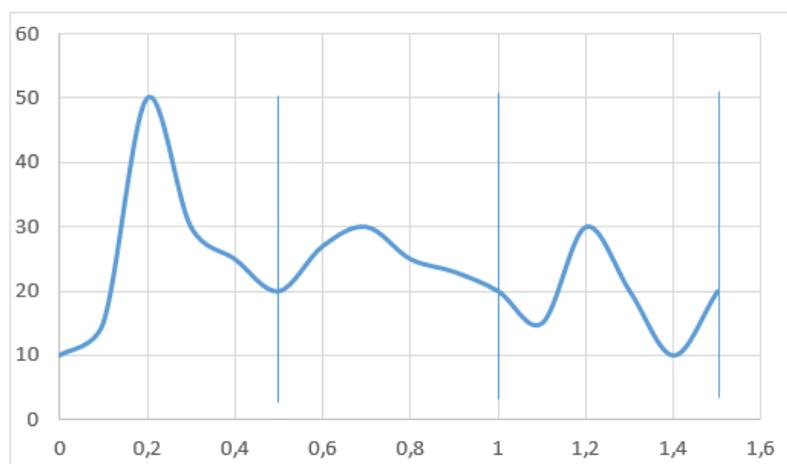


FONTE: O autor (2018).

#### 4.4.4 AMOSTRAS

O modo amostras, como já explicado anteriormente, pode ser utilizado tanto para as altas como para as baixas frequências do sinal de entrada do registrador de dados. Nesse modo o dispositivo pega uma amostra do sinal a cada instante de tempo, independente se ser um pico ou não. Essa amostra do sinal é então enviada para conversão. Por exemplo, como na FIGURA 25 que representa o gráfico de exemplo desse modo, a cada 0,5s é obtido uma amostra enviado para conversão.

FIGURA 25 - GRÁFICO DE EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MODO AMOSTRAS.



FONTE: O autor (2018).

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Durante o processo de desenvolvimento do projeto o microcontrolador MSP430G2553 queimou com a impossibilidade da importação de outro igual, devido ao tempo, foi substituído pelo PIC18F4550. Com ele foi realizada a comunicação com o conversor AD, ads1232. Como pode ser visualizado na FIGURA 26, obtida do display de um osciloscópio, os dados são recebidos pelo microcontrolador a cada pulso de clock programado por ele.

FIGURA 26 - FORMA DE ONDA OBTIDA NO OSCILOSCÓPIO PARA O CLOCK E DOUT DO ADS1232.



FONTE: O autor (2018).

Apesar da comunicação entre os dois componentes ter se tornado possível, quando conectada a sonda de medição de campo magnético, utilizada para testes, o AD saturava. Devido ao pouco tempo hábil para maiores estudos, causado pelo atraso ocasionado pela queima do microcontrolador, não foi descoberto a razão dessa saturação. Então foi decidido utilizar o conversor AD interno do próprio PIC18F4550.

Primeiramente, para utilizar esse conversor AD foi necessária adaptar o circuito e o programa para utilizar os terminais do PIC18F4550 que são de entrada analógica e são próprias para fazer a conversão AD. Para que fosse possível utilizar esses terminais também foi necessário transformar o detector de médias que antes era diferencial para de modo comum, pois o conversor do pic é incompatível com entradas diferenciais.

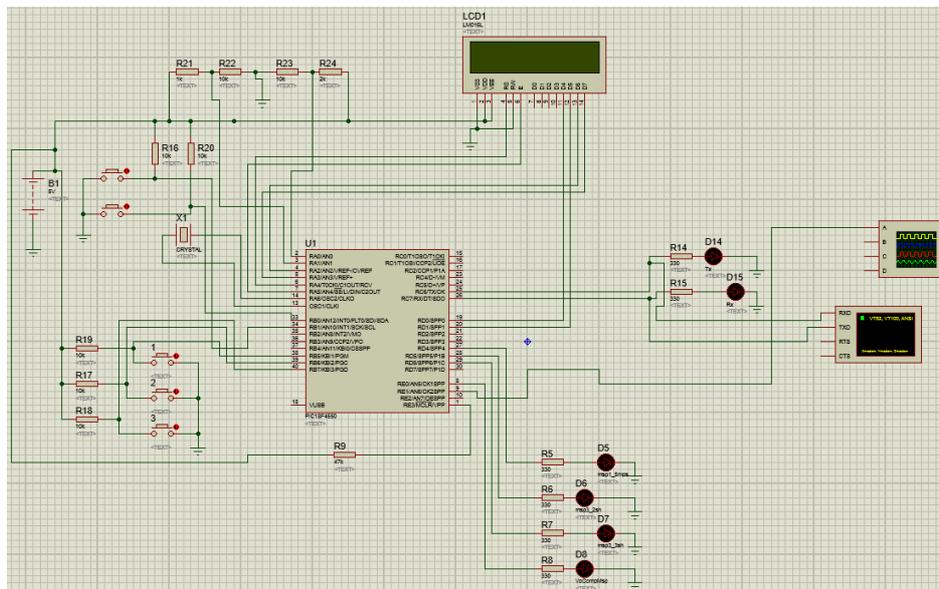
O microcontrolador PIC18F4550 possui um conversor AD do tipo aproximações sucessivas de 10 bits de resolução. Para obter uma resolução maior, foi realizado o método de sobreamostragem + decimação. Com isso, foi possível obter uma resolução de 15 bits no conversor AD. A técnica de sobreamostragem é realizada obtendo um número fixo de N amostras. Com essas N amostras é realizada uma média que resulta em uma amostra equivalente. A redução do ruído ocorre pela redução da variância do sinal e pelo efeito de filtragem digital. O resultado final possui um ganho de resolução. O aumento na resolução é calculado de acordo com a equação 4 (BONFIM, 2013). Nesse caso, o número de médias realizadas foram 1024.

$$n(\text{bits}) = \log_4(Nm) \quad (4)$$

$$n(\text{bits}) = 5$$

Inicialmente foi simulado o programa com a parte do circuito a qual se comunica com o microcontrolador no proteus para se certificar do funcionamento deste. O circuito da simulação foi projetado de acordo com a FIGURA 27.

FIGURA 27 - ESQUEMÁTICO DA SIMULAÇÃO DO MICROCONTROLADOR PIC.



FONTE: O autor (2018).

Para o teste do funcionamento do dispositivo foi utilizada uma sonda de medição de campo magnético. Com ela e a partir da entrada de sinal do detector

de médias, foram obtidos os dados TABELA para os respectivos campos magnéticos.

TABELA 3: VALORES OBTIDOS PELA LEITURA DO AD DO PIC UTILIZANDO A SONDA DE MEDIÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO.

Campo Magnético	Leitura do AD
0T	16230
2T	19897
-2T	11327

FONTE: O autor (2018).

Com esses dados foi possível calcular a equação da reta da sonda de medição, conforme equacionado em (5). Essa equação possibilita realizar a visualização dos dados em Teslas.

$$y = a \cdot x + b \quad (5)$$

$$y = 40,79 \cdot 10^{-5} \cdot x - 6,62$$

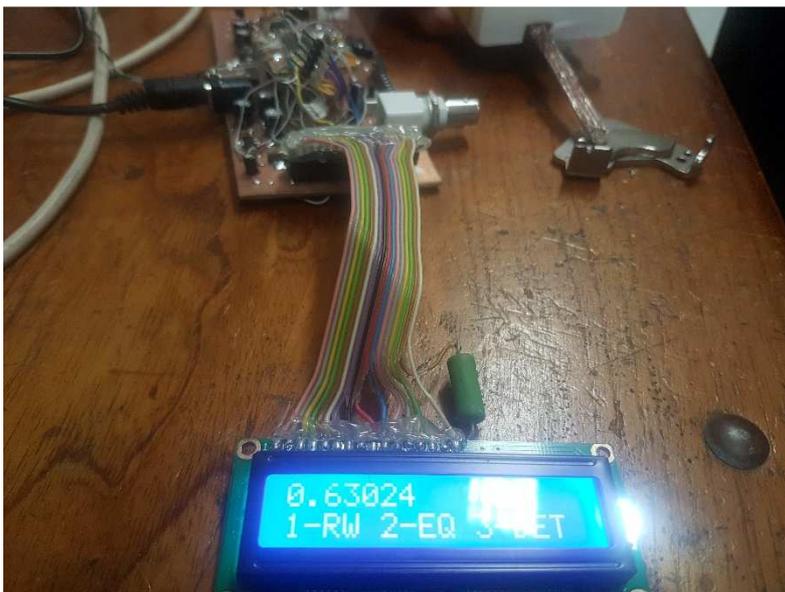
Após a calibração do dispositivo para sonda de medição de campo magnético utilizada. Foram realizadas medidas com dois ímãs. Na FIGURA 28 pode ser visualizado que enquanto não há um ímã próximo a sonda o valor é próximo de zero. No entanto quando é aproximado um ímã conforme a FIGURA 29 e FIGURA 30 o valor se modifica. O resultado visualizado no display é positivo ou negativo dependendo da posição da sonda com a polaridade do ímã.

FIGURA 28 - DISPLAY LCD AMOSTRANDO O VALOR MEDIDO SEM IMÃ PRÓXIMO.



FONTE: O autor (2018).

FIGURA 29 - DISPLAY LCD AMOSTRANDO O VALOR MEDICO COM A APROXIMAÇÃO EM UMA DAS POLARIDADES DO IMÃ.



FONTE: O autor (2018).



Também foi utilizado um imã com um campo magnético de maior intensidade, chegando até a 2T. Assim, conforme a FIGURA 32 o dispositivo foi aproximado e realizou a medida deste. Como pode ser observado o valor medido foi maior que o anterior, 1.32297T, conforme esperado.

FIGURA 32 - DISPLAY LCD AMOSTRANDO O VALOR MEDIDO NO IMÃ DE MAIOR INTENSIDADE.



FONTE: O autor (2018).

Com os dados transferidos para o computador, foi possível registrar várias medidas. Então foram obtidos 250 dados de medidas em Tesla para realizar o cálculo do desvio padrão. O qual foi obtido o resultado de DP = 0,00051T.

Após a obtenção de medidas, foi realizado o cálculo da resolução final do conversor AD do microcontrolador. Esse cálculo foi realizado pela equação (5), onde V é a faixa dinâmica do conversor AD e n é o número de bits. Assim, foi obtido uma resolução final de 152,587 $\mu$ V, conforme a resolução em (6) (BONFIM, 2013).

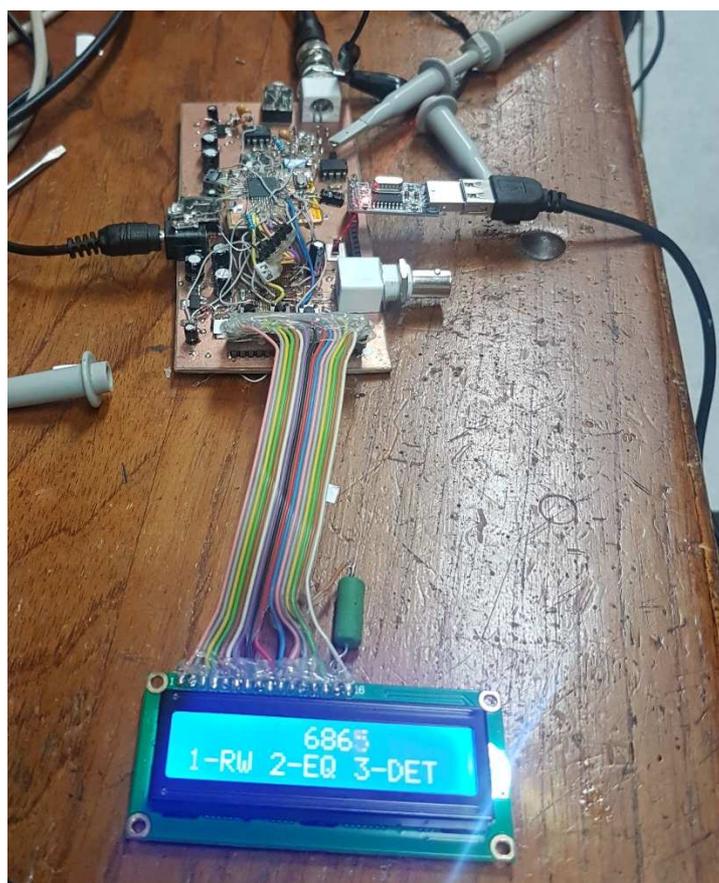
$$\text{Resolução do AD} = \frac{V}{(2^n)} \quad (5)$$

$$\frac{5V}{(2^{15})} = 152,588\mu V \quad (6)$$

Já para o circuito detector de pico, foi utilizado um gerador de sinais para testar o seu funcionamento. Como pode ser visualizado na FIGURA 33 o valor obtido pelo conversor interno do microcontrolador foi amostrado no display conforme desejado. Já a forma de onda do circuito detector de pico obtida no osciloscópio é exposta na FIGURA 34, onde o sinal em amarelo é o sinal aplicado pelo gerador de sinal e o sinal em azul é o sinal na saída do conversor AD, antes do *sample and hold*. Como pode ser visualizado na equação (7), o cálculo inverso é válido, o valor da resolução do AD multiplicado pelo valor amostrado no *display LCD* é igual ao valor do pico.

$$152,588\mu V * 6865 = 1,0475V \quad (7)$$

FIGURA 33 - DISPLAY LCD AMOSTRAND O VALOR DE LEITURA DO AD PARA O DETECTOR DE PICOS.



FONTE: O autor (2018).

FIGURA 34 - FORMA DE ONDA OBTIDA PELO OSCILOSCÓPICO PARA O CIRCUITO DO DETECTOR DE PICO.



FONTE: O autor (2018).

## 6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um registrador de dados de alta resolução sem fio. O objetivo principal foi o de ligar a alta resolução do conversor AD com a possibilidade de amostrar o pico de um sinal de alta frequência através do detector de pico. Utilizando um conversor do tipo sigma-delta de 24bits de resolução e um detector de pico para sinais de até 700kHz, foi preciso projetar um circuito que aceitasse esses valores. Então, com a ajuda de um *sample and hold* e um comparador foi possível obter os valores de pico do sinal de entrada e enviar para conversão no conversor de baixa velocidade.

Foi desenvolvido um protótipo inicial para este trabalho. No entanto, apesar deste ser feito em uma placa de circuito impresso foram misturados componentes SMD's e THT's, devido à falta de componentes disponíveis a venda em Curitiba e no Brasil e ao tempo disponível para a devida importação. Uma sugestão de melhoria é de uniformizar a placa e trabalhar somente com componentes SMD's para que assim o tamanho do protótipo possa ser diminuído e aumente a resistência física da placa.

Faltando um mês para entrega do projeto, ocorreu a queima do microcontrolador MSP430G2553 durante a fase de testes. Para contornar o problema foi projetado uma placa de adaptação para o PIC18F4550, pois o MSP não foi encontrado para compra no Brasil e dado início a importação foi previsto que demoraria para receber o produto. A adição da placa de adaptação prejudicou algumas premissas de compatibilidade eletromagnética que foram adotadas, devido ao curto espaço de tempo em que a queima do microcontrolador original ocorreu. Para uma futura melhoria deste projeto, é indicado realizar a produção de uma placa única contendo todos os componentes e seguindo as regras de layout.

A comunicação do microcontrolador PIC18F4550 com o conversor AD ads1232 foi possível, no entanto, devido à falta de tempo hábil, não houve a possibilidade de descobrir o porquê de quando a sonda de medição era conectada o conversor AD não media corretamente. Esse não esboçava variação significativa quando o sinal variava. Assim, para a conclusão do projeto, foi escolhido utilizar o conversor AD interno do microcontrolador com o método

de sobreamostragem e decimação para melhorar a sua resolução. Com esse conversor foi possível realizar os testes e medidas necessárias.

O projeto mostrou-se funcional com algumas limitações. A transmissão de dados para o computador funcionou adequadamente via cabo e via *bluetooth*. Os modos de operação amostra e trigger estão funcionando corretamente, porém os modos contínuo e monitoramento de tempo ainda não estão completamente calibrados.

## REFERÊNCIAS

Analog Devices. **MT-090 TUTORIAL Sample-and-Hold Amplifiers**. 2009.

Analog Devices. **LOW COST, 80MHZ FASTFET OP AMPS AD8033/AD8034**. Datasheet. 2008. Disponível em: <[www.analog.com](http://www.analog.com)>. Acesso em: 25 de julho de 2018.

ALVEZ, M. F. **ABC do Osciloscópio: Princípio de funcionamento e estado da tecnologia**. 2007. Disponível em: <[www2.pcs.usp.br/~labdig/material/ABC\\_Osc.pdf](http://www2.pcs.usp.br/~labdig/material/ABC_Osc.pdf)>. Acesso em: 24 de agosto de 2018.

BONFIM, M. J. C. **Conversores Digital/Analógico (C/A) e Analógico/Digital (A/D)**. Aula 7. Curitiba, 2013. Disponível em: <[www.eletr.ufpr.br/marlio/ensino.htm](http://www.eletr.ufpr.br/marlio/ensino.htm)>. Acesso em: 20 de novembro de 2018.

BONFIM, M. J. C. **Instrumentação Eletrônica Avançada**. Aula 4. Disponível em: <[www.eletr.ufpr.br/marlio/ensino.htm](http://www.eletr.ufpr.br/marlio/ensino.htm)>. Acesso em: 05 de julho de 2018.

BONFIM, M. J. C. **Medidas Elétricas**. Apostila 3b. Curitiba, 2002. Disponível em: <[www.eletr.ufpr.br/marlio/medidas/apostila/](http://www.eletr.ufpr.br/marlio/medidas/apostila/)>. Acesso em: 20 de julho de 2018.

BONFIM, M. J. C. **Redução de Ruídos em Sinais Amostrados**. Aula 5. Curitiba, 2013. Disponível em: <[www.eletr.ufpr.br/marlio/ensino.htm](http://www.eletr.ufpr.br/marlio/ensino.htm)>. Acesso em: 20 de novembro de 2018.

DUCU, D. **Op Amp Rectifiers, Peak Detectors and Clamps**. Microchip Technology Inc. 2011. Disponível em: <[ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/01353a.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/01353a.pdf)>. Acesso em: 10 de agosto de 2018.

IRWIN, J. D. **Análise de Circuitos em Engenharia**. 4. Ed. São Paulo: editora Pearson Education. Pg 604 – 606.

KITANO, C. **Circuitos com Diodos**. Unesp. 2017. Disponível em: <[www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/optoeletronica/circuitos\\_com\\_diodos\\_ele\\_i.pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/optoeletronica/circuitos_com_diodos_ele_i.pdf)>. Acesso em: 20 de julho de 2018.

MUSSOI, F. L. R. **Resposta em Frequência FILTROS PASSIVOS**. Apostila ufsm. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina. Gerência Educacional de Eletrônica. Florianópolis, 2004. Disponível em: <[intranet.ctism.ufsm.br/gsec/Apostilas/filtropassivo.pdf](http://intranet.ctism.ufsm.br/gsec/Apostilas/filtropassivo.pdf)>. Acesso em: 25 de outubro de 2018.

OMEGA, **Registradores de Dados**. Disponível em: <[br.omega.com/section/registradores-dados.html](http://br.omega.com/section/registradores-dados.html)>. Acesso em: 05 de julho de 2018.

OTT, H. W. **Electromagnetic Compatibility Engineering**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009.

PAUL, C. R. **Introduction to Electromagnetic Compatibility**. 2. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006.

RENESAS, **Choosing and Using Bypass Capacitors**. Application Note. Oct 2011. Disponível em: <[www.renesas.com](http://www.renesas.com)>. Acesso em: 05 de novembro de 2018.

SADIKU, M. N. O. e ALEXANDER, K. C. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: AMDH Editora Ltda, 2013

SEDRA, A. S. e SMITH, K. C. **Microeletrônica**. 4. ed. São Paulo. São Paulo: Editora Pearson Education do Brasil, 2004.

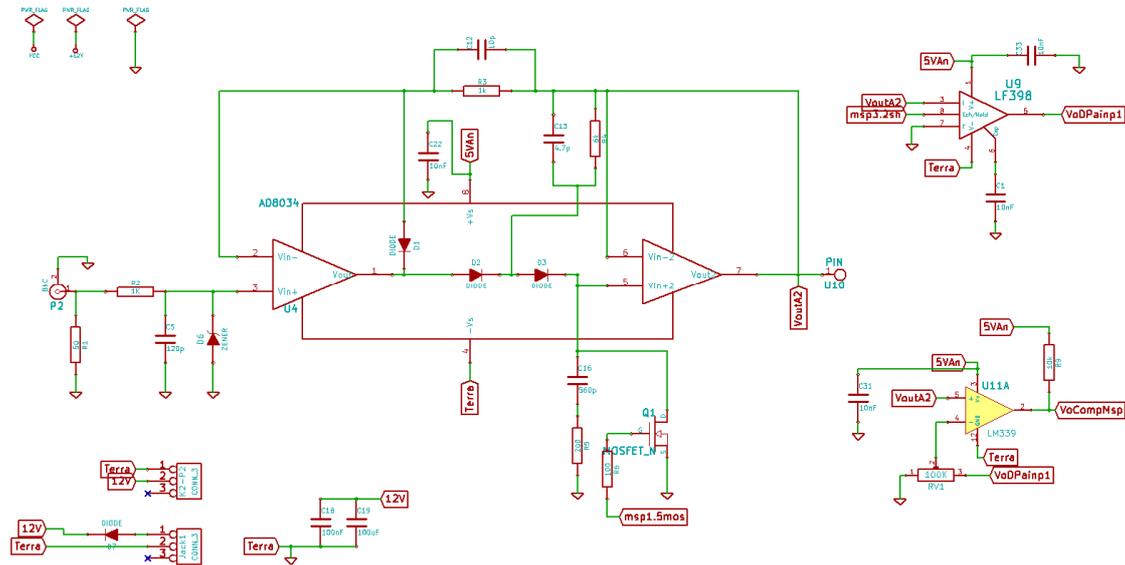
TEXAS INSTRUMENTS. **24-Bit Analog-to-Digital Converter For Bridge Sensors**. ADS1232, ADS1234. Dallas, Texas. Revisado em fevereiro de 2008.

TEXAS INSTRUMENTS. **LFx98x Monolithic Sample-and-Hold Circuits**. Dallas, Texas. Julho de 2000, revisado outubro de 2018.

VONDER. **A História dos Instrumentos de Medição**. 2016. Disponível em: <<http://www.vonder.com.br/artigos/a-historia-dos-instrumentos-de-medi%C3%A7ao>>. Acesso em: 24 de agosto de 2018.

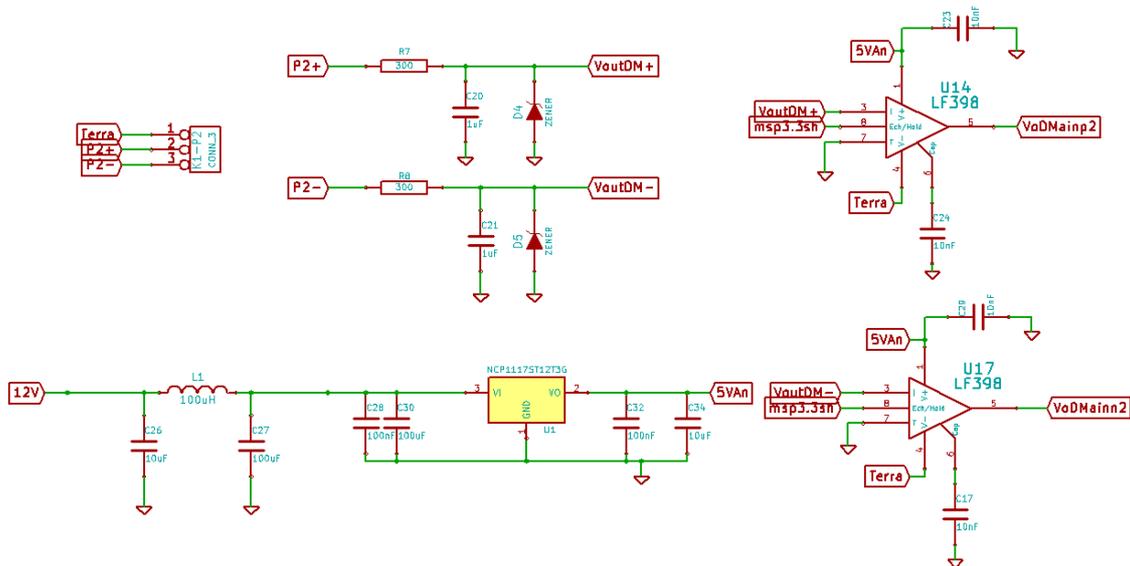
# APÊNDICE 1

FIGURA 35 - ESQUEMÁTICO DO DETECTOR DE PICO E PERIFÉRICOS.



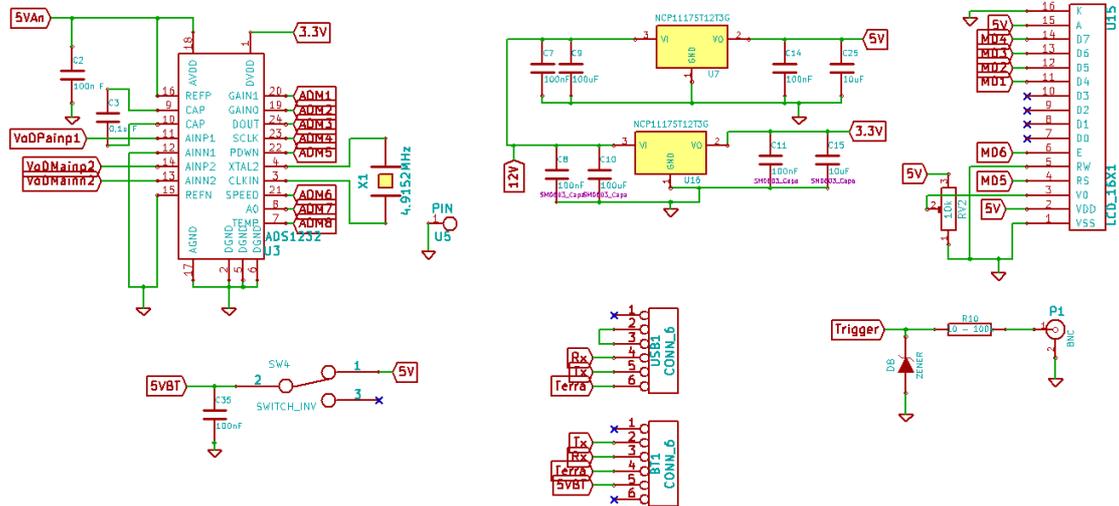
FONTE: O autor (2018).

FIGURA 36 - ESQUEMÁTICO DO DETECTOR DE MÉDIAS E PERIFÉRICOS.



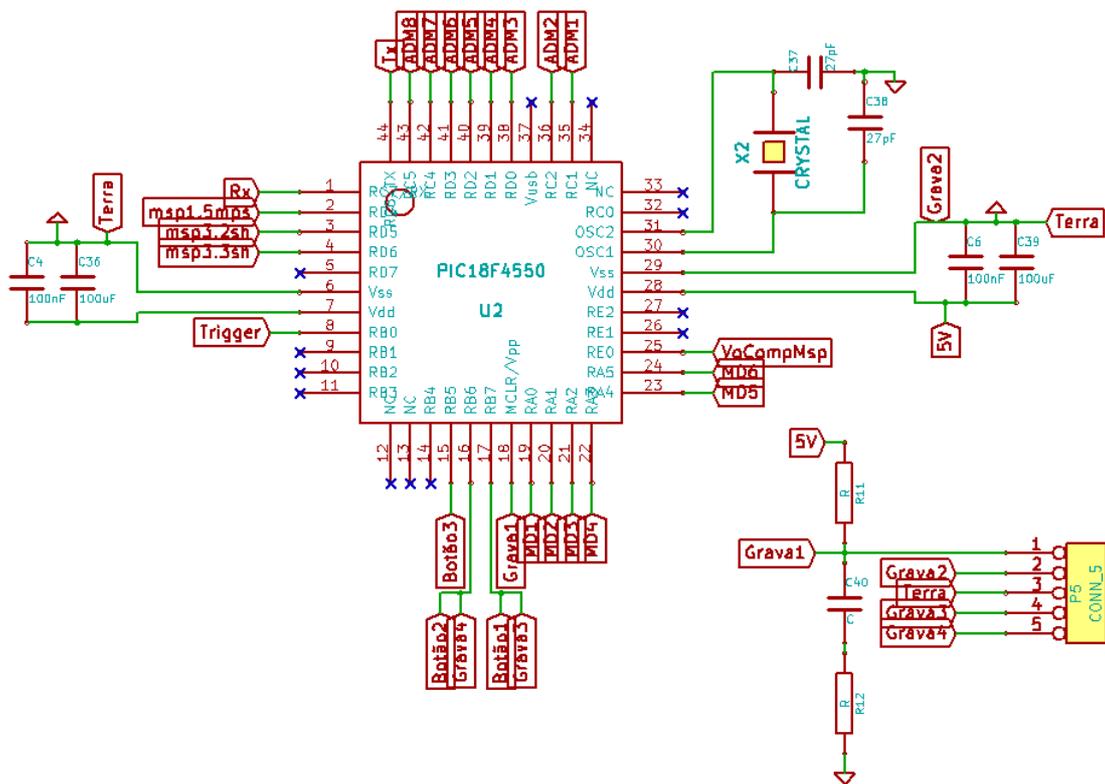
FONTE: O autor (2018).

FIGURA 37 - ESQUEMÁTICO DA PARTE DIGITAL DO REGISTRADOR DE DADOS.



FONTE: O autor (2018).

FIGURA 38 - ESQUEMÁTICO DO MICROCONTROLADOR PIC18F4550.



FONTE: O autor (2018).

## APÊNDICE 2

```

sbit TRIGGER at RB0_bit;           //PIC para TRIGGER
sbit TRIGGER_Direction at TRISB0_bit;

sbit reset_peak at RD4_bit;       //parte analógica
sbit reset_peak_Direction at TRISD4_bit;
sbit s_h_peak at RD5_bit;
sbit s_h_peak_Direction at TRISD5_bit;
sbit s_h_av at RD6_bit;
sbit s_h_av_Direction at TRISD6_bit;
sbit comparator_out at RE0_bit;
sbit comparator_out_Direction at TRISE0_bit;

sbit botao1 at RB5_bit;
sbit botao1_Direction at TRISB5_bit;
sbit botao2 at RB6_bit;
sbit botao2_Direction at TRISB6_bit;
sbit botao3 at RB7_bit;
sbit botao3_Direction at TRISB7_bit;

//-----Enumerações

enum {INICIO = 0, DETECTOR, MODO_OP, EQUACAO};
enum {MONITORA_PICO = 0, CONTINUO, AMOSTRAS, TRIGGER_EXT};

//-----Variaveis

short gain = 0, estado = INICIO, estado_disparo = AMOSTRAS, channel = 0, canal =
0, modo_disp;
short temporiza = 0;
char buffer[16], buffer_serial[10];
double resultado = 0, valor_a = 0, valor_b = 0;
int count_amostra = 0;
unsigned long valor_convertido = 0, medias_adc = 0;

//-----Flags

unsigned short flags0 = 0;

sbit raw_data at flags0.b0;
sbit monit_pronto at flags0.b1;
sbit esatado_monit at flags0.b2;
sbit peak_det at flags0.b3;
sbit estado_amostras at flags0.b4;
sbit amostra_det at flags0.b5;
sbit estado_trigger at flags0.b6;
sbit TRIGGER_det at flags0.b7;

//-----Interrupção

void set_timer()
{
    tmr0h = 72; //500 ms - 12Mhz
    tmr0l = 200;
}

```

```

void interrupt ()
{
  if(intcon.int0if == 1) //interrupcao externa - Trigger
  {
    intcon.int0if = 0;
    s_h_peak = 0; //hold
    s_h_av = 0; //hold
    TRIGGER_det = 1;
    return;
  }
  if(intcon3.int1if == 1) //interrupcao externa - comparador
  {
    s_h_peak = 1; //sample
    intcon3.int1if = 0;
    delay_ms(1);
    s_h_peak = 0; //hold
    peak_det = 1;
  }
  if(intcon.tmr0if == 1) //interrupção do estouro do timer0 - 500ms
  {
    intcon.tmr0if = 0;
    set_timer();
    if(temporiza > 0) //temporiza 1s
    {
      intcon3.int1ie = 0; //desabilita a interrupção externa int1 - comparador
      t0con.tmr0on = 0; //desliga o timer 0
      monit_pronto = 1;
      temporiza = 0;
    }
    else
    {
      temporiza++;
    }
  }
  if(estado_disparo == AMOSTRAS)
  {
    s_h_peak = 1; //sample
    s_h_av = 1; //sample
    delay_ms(1);
    s_h_peak = 0; //hold
    s_h_av = 0; //hold
    amostra_det = 1;
    t0con.tmr0on = 0; //desliga o timer 0
  }
}

//-----

void le_ad()
{
  //-----Faz 1024 medias para aumentar a resolução para 15bits
  valor_convertido = 0;
  for(medias_adc = 0; medias_adc < 1024; medias_adc++)
  {
    valor_convertido = valor_convertido + adc_read(canal);
  }
  valor_convertido = valor_convertido>>5;
}

```

```

}

void dispara_ad()
{
switch(estado_disparo)
{
case MONITORA_PICO: //1seg
if(esatado_monit)
{
lcd_out(1,16,"A");
if(monit_pronto)
{
esatado_monit = 0;
monit_pronto = 0;
le_ad();
lcd_out(1,16," ");
}
}
else
{
temporiza = 0;
esatado_monit = 1;
s_h_peak = 1; //sample
reset_peak = 1; //transistor reset ligado
delay_ms(100);
s_h_peak = 0; //hold
reset_peak = 0; //transistor reset desligado

intcon3.int1ie = 1; //habilita a interrupção externa int1 - comparador
t0con.tmr0on = 1; //liga o timer 0
}
break;
case CONTINUO:
s_h_peak = 1; //sample
reset_peak = 1; //transistor reset ligado
delay_ms(100);
s_h_peak = 0; //hold
reset_peak = 0; //transistor reset desligado
intcon3.int1ie = 1; //habilita a interrupção externa int1 - comparador
if(peak_det)
{
peak_det = 0;
le_ad();
}
break;
case AMOSTRAS:
if(estado_amostras)
{
if(amostra_det)
{
amostra_det = 0;
estado_amostras = 0;
le_ad();
}
}
else
{
s_h_peak = 1; //sample
s_h_av = 1; //sample
reset_peak = 1; //transistor reset ligado

```

```

        delay_ms(100);
        s_h_peak = 0; //hold
        s_h_av = 0; //hold
        reset_peak = 0; //transistor reset desligado
        estado_amostras = 1;
        t0con.tmr0on = 1; //liga o timer 0
    }
    break;
case TRIGGER_EXT:
    if(estado_trigger)
    {
        lcd_out(1,16,"W");
        if(TRIGGER_det)
        {
            lcd_out(1,16,"T");
            TRIGGER_det = 0;
            estado_trigger = 0;
            le_ad();
        }
    }
    else
    {
        s_h_peak = 1; //sample
        s_h_av = 1; //sample
        reset_peak = 1; //transistor reset ligado
        delay_ms(100);
        reset_peak = 0; //transistor reset desligado

        estado_trigger = 1;
        intcon.int0ie = 1; //habilita TRIGGER ext
    }
    break;
default:
    estado_disparo = AMOSTRAS;
    break;
}
}

void main()
{
//-----coloca entradas analogicas AN0 e AN1 demais digitais
    adcon1.pcfg3 = 1;
    adcon1.pcfg2 = 1;
    adcon1.pcfg1 = 0;
    adcon1.pcfg0 = 1;
//-----desabilita comparadores
    cmcon.cm2 = 1;
    cmcon.cm1 = 1;
    cmcon.cm0 = 1;
//-----configuracao das portas
//-----Inicializa AD do PIC

    ADC_init();

//Trigger in
    TRIGGER_Direction = 1;

//Botao
    botao1_Direction = 1;
    botao2_Direction = 1;

```

```

botao3_Direction = 1;

//controles analogicos
reset_peak_Direction = 0;
s_h_peak_Direction = 0;
s_h_av_Direction = 0;
comparator_out_Direction = 1;

s_h_peak = 1; //amostrando
s_h_av = 1; //amostrando
reset_peak = 1; //transistor reset ligado
delay_ms(100);
reset_peak = 0; //transistor reset desligado

//-----Habilita interrupção e timer

//habilita as interrupções
rcon.ipen = 0; //desabilita os niveis de prioridade do PIC18
//intcon.int0ie = 1; //habilita a interrupção externa int0 - trigger
//intcon3.int1ie = 1; //habilita a interrupção externa int1 - comparador
intcon2.intedg0 = 1; // interrupção na borda de subida int0
intcon2.intedg1 = 1; // interrupção na borda de subida int1
intcon.tmr0ie = 1; //habilita a interrupção do timer 0

intcon.gie = 1; //habilita todas as interrupções

//inicia o timer 0 - para desligar o backlight e voltar ao menu principal e controlar os demais
tempos
t0con.t0ps2 = 1;
t0con.t0ps1 = 0; //prescaler 1:32
t0con.t0ps0 = 0;
t0con.psa = 0; //clock vem do prescaler
t0con.t0cs = 0; //usa o clock interno como referencia
t0con.t08bit = 0; //16bits

set_timer();

//t0con.tmr0on = 1; //liga o timer 0

//-----

valor_a= 40.8e-5;
valor_b= -6.62;

UART1_Init(115200); // Initialize UART module at 115200 bps
Delay_ms(100); // Wait for UART module to stabilize

lcd_init();
lcd_cmd(_LCD_CLEAR);
lcd_cmd(_LCD_CURSOR_OFF);

canal = 1; //canalad - dete media

//-----

while(1)
{
monit_serial();
switch (estado)

```

```

{
  case INICIO:
    if(raw_data) //dados sem serem processados - dados direto do AD
    {
      longtostr(valor_convertido,buffer);
      lcd_out(1,1,buffer);
      lcd_out(2,1,"1-RW 2-EQ 3-DET");
    }
    else
    {
      resultado = valor_a*valor_convertido + valor_b;
      sprintf(buffer,"%0.4f",resultado);
      lcd_out(1,1,buffer);
      lcd_out(2,1,"1-RW 2-EQ 3-DET");
    }
    //envia via serial
    uart_write_text(buffer);
    uart_write(13);
    //disparo do AD
    dispara_ad();

    if (!botao1)
    {
      while(!botao1);
      raw_data = 1;
    }
    else if (!botao2)
    {
      while(!botao2);
      lcd_cmd(_LCD_CLEAR);
      raw_data = 0;
    }
    else if (!botao3)
    {
      while(!botao3);
      lcd_cmd(_LCD_CLEAR);
      estado = DETECTOR;
    }
    break;
  case DETECTOR:
    if(canal) //Detector media
    {
      lcd_out(1,1,"Detector: AV");
    }
    else //detector pico
    {
      lcd_out(1,1,"Detector: PK");
    }
    lcd_out(2,1,"1-Bk 2-Muda 3-Md");

    if (!botao1)
    {
      while(!botao1);
      lcd_cmd(_LCD_CLEAR);
      estado = INICIO;
    }

```

```

    }
    else if (!botao2)
    {
        while(!botao2);
        lcd_cmd(_LCD_CLEAR);
        if(canal)
        {
            canal = 0;
            estado_disparo = AMOSTRAS; // seleciona um detector valido para o
detector de medias
        }
        else
            canal = 1;
    }
    else if (!botao3)
    {
        while(!botao3);
        lcd_cmd(_LCD_CLEAR);
        estado = MODO_OP;
    }
    break;
case MODO_OP:
    switch(estado_disparo)
    {
        case MONITORA_PICO:
            lcd_out(1,1,"Modo OP:Monit PK");
            break;
        case CONTINUO:
            lcd_out(1,1,"Modo OP:Contínuo");
            break;
        case AMOSTRAS:
            lcd_out(1,1,"Modo OP:Amostra");
            break;
        case TRIGGER_EXT:
            lcd_out(1,1,"Modo OP:EXT");
            break;
    }
    lcd_out(2,1,"1-Bk 2-Muda 3-Eq");

    if (!botao1)
    {
        while(!botao1);
        lcd_cmd(_LCD_CLEAR);
        estado = DETECTOR;
    }
    else if (!botao2)
    {
        while(!botao2);
        lcd_cmd(_LCD_CLEAR);
        if(canal) // Detector de media
        {
            switch(estado_disparo)
            {
                case AMOSTRAS:
                    estado_disparo = TRIGGER_EXT;
                    break;
                case TRIGGER_EXT:
                    estado_disparo = AMOSTRAS;
                    break;
            }
        }
    }
}

```

```

        default:
            estado_disparo = AMOSTRAS;
        }
    }
else //Detector de pico
{
    switch(estado_disparo)
    {
        case MONITORA_PICO:
            estado_disparo = CONTINUO;
            break;
        case CONTINUO:
            estado_disparo = AMOSTRAS;
            break;
        case AMOSTRAS:
            estado_disparo = TRIGGER_EXT;
            break;
        case TRIGGER_EXT:
            estado_disparo = MONITORA_PICO;
            break;
    }
}
}
else if (!botao3)
{
    while(!botao3);
    lcd_cmd(_LCD_CLEAR);
    estado = EQUACAO;
}
break;
case EQUACAO:

    sprintf(buffer,"a:%.2f b:%.2f",valor_a,valor_b);
    lcd_out(1,1,buffer);
    lcd_out(2,1,"1-Voltar");

    if (!botao1)
    {
        while(!botao1);
        lcd_cmd(_LCD_CLEAR);
        estado = MODO_OP;
    }
    break;
}
}
}

```