

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

FELIPE SOUZA BORGES FONTES

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE  
AQUISIÇÃO DE DADOS PARA APLICAÇÕES DIDÁTICAS DE  
CONTROLE DIGITAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO  
2018

FELIPE SOUZA BORGES FONTES

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE  
AQUISIÇÃO DE DADOS PARA APLICAÇÕES DIDÁTICAS DE  
CONTROLE DIGITAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Cavalcanti Jeronymo  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Coorientador: Prof. Dr. Alberto Vinicius de Oliveira  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

TOLEDO  
2018



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Toledo  
Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica



---

TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso Nº

**Projeto e desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para aplicações didáticas de controle digital**

por

Felipe Souza Borges Fontes

Esse Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às **15h00 do dia 03 de dezembro de 2018** como **requisito parcial** para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Eletrônica**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

---

Prof. Me. Bruno Meneghel Zilli  
UTFPR

---

Prof. Dr. Felipe Walter Dafico Pfrimer  
UTFPR

---

Prof. Dr. Daniel Cavalcanti Jeronymo  
UTFPR

---

Prof. Dr. Fábio Risental Coutinho  
UTFPR

O termo de aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso

Toledo, 03 de dezembro de 2018

## RESUMO

Analisar e registrar fenômenos físicos são funções cada vez mais requisitadas em dispositivos eletrônicos de aplicações industriais. Existem diversos tipos de transdutores que permitem que grandezas físicas sejam associadas a grandezas elétricas as quais podem ser manipuladas, processadas e armazenadas. Neste trabalho foi projetado um sistema capaz de condicionar sinais elétricos de magnitude inferior a 10 V, podendo ser utilizado com diversos tipos de transdutores, facilitando a análise de processos e permitindo o emprego de técnicas de controle. No desenvolvimento deste sistema foram utilizados circuitos eletrônicos para satisfazer prerrogativas do condicionamento como filtragem, isolamento, ajuste de ganho, normalização, bem como proteger as entradas analógicas de um sistema embarcado. Após a implementação do condicionador, o sistema de aquisição de dados foi utilizado para ler e armazenar dados de um sinal analógico elétrico.

**Palavras-chave:** Condicionamento. Sistema de Aquisição de Dados. Instrumentação.

## **ABSTRACT**

It is increasingly common observing and registering the physical phenomena of an industrial process. There are many kinds of transducers can relation physical specifications with electrical specifications, these can be manipulated, processed and stored. In this paper, have gone projected a sufficient system to condition electrical characteristics in a specific gap of size, this system can be used for several styles of transducers, easing the process's test and allowing control technics. In the development's system, have been used electronics circuits to satisfy the conditionings prerogatives and protecting the embedded system analogics inputs. After the implementation of the conditioner, the datas acquisition system have gone used to read and storing analog electrical signals datas.

**Keywords:** Conditioning. Datas Acquisition System. Instrumentation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do controle de um processo em malha fechada com seus principais blocos funcionais . . . . .	4
Figura 2 – Sequência de atividades . . . . .	8
Figura 3 – Condicionador . . . . .	10
Figura 4 – Esquema elétrico do filtro passa-baixas . . . . .	12
Figura 5 – Circuito <i>buffer</i> . . . . .	13
Figura 6 – Esquema elétrico do <i>span</i> . . . . .	13
Figura 7 – Esquema elétrico do <i>zero</i> . . . . .	14
Figura 8 – Esquema elétrico do normalizador . . . . .	14
Figura 9 – Formas de onda de menor amplitude condicionada no protótipo . . . . .	15
Figura 10 – Formas de onda do sinal antes e após a normalização em <i>protoboard</i> . . . . .	16
Figura 11 – <i>Layout</i> da placa de circuito impresso . . . . .	16
Figura 12 – Placa de circuito impresso após corrosão . . . . .	17
Figura 13 – Forma de onda de menor amplitude condicionada na placa de circuito impresso	17
Figura 14 – Formas de onda do sinal antes e após a normalização em placa de circuito impresso . . . . .	17
Figura 15 – Sistema de aquisição de dados . . . . .	18
Figura 16 – Sinal lido pelo SAD . . . . .	19
Figura 17 – Sinal lido pelo osciloscópio . . . . .	19
Figura 18 – Esquema elétrico do condicionador de sinal . . . . .	23
Figura 19 – Código para envio de dados . . . . .	24
Figura 20 – Código para recebimento de dados . . . . .	24
Figura 21 – Código para aquisição de dados em tempo real . . . . .	25
Figura 22 – Código para iniciar a aquisição de dados . . . . .	26
Figura 23 – Código para finalizar a aquisição de dados . . . . .	26
Figura 24 – Código para testar o arduino . . . . .	27
Figura 25 – Código do <i>firmware</i> parte 1 . . . . .	28
Figura 26 – Código do <i>firmware</i> parte 2 . . . . .	29
Figura 27 – Código do <i>firmware</i> parte 3 . . . . .	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de materiais . . . . .	11
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	Analog Devices
A/D	Analógico/Digital
CI	Circuitos Integrados
PCI	Placa de Circuito Impresso
NI	National Instruments
SAD	Sistema de Aquisição de Dados
SNR	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>



## LISTA DE SÍMBOLOS

$A$	<i>Span</i>
$C$	Capacitância
$f_c$	Frequência de corte
$f_m$	Frequência máxima
$f_n$	Frequência de nyquist
$f_s$	Frequência de amostragem
$I$	<i>Zero</i>
$n_b$	Número de bits
$n_q$	Nível de quantização
$R$	Resistência dos resistores
$R_p$	Resistência do potenciômetro
$s$	Frequência angular
$T_s$	Período de amostragem
$V_i$	Tensão de entrada
$V_o$	Tensão de saída
$x(t)$	Sinal analógico do transdutor
$y(t)$	Sinal analógico após a etapa de amplificação

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
2.1	Objetivos Específicos	2
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>4</b>
4.1	Transdutor	4
4.2	Condicionador de Sinal	5
4.2.1	Filtragem	5
4.2.2	Isolação	5
4.2.3	Amplificação	5
4.2.4	Normalização	6
4.2.5	Amostragem	6
4.3	Sistema Embarcado	7
4.4	Atuadores	7
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>8</b>
5.1	Especificações do Condicionador	8
5.1.1	Filtragem	8
5.1.2	Isolação	9
5.1.3	Amplificação	9
5.1.3.1	Ajuste de ganho	9
5.1.3.2	Ajuste de <i>offset</i>	9
5.1.4	Normalização	9
5.1.5	Isolação	9
5.2	Simulação dos Elementos	10
5.3	Implementação e Testes em Placa de Prototipagem	10
5.4	Implementação e Testes em Placa de Circuito Impresso	10
5.5	Aplicação	10
5.6	Recursos	10
<b>6</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>12</b>
6.1	Projeto dos Elementos do Condicionador	12
6.1.1	Filtragem	12
6.1.2	Isolação	12

6.1.3	Amplificação . . . . .	12
6.1.3.1	Ajuste de ganho . . . . .	12
6.1.3.2	Ajuste de <i>offset</i> . . . . .	13
6.1.4	Normalização . . . . .	14
6.2	Condicionador simulado . . . . .	15
6.3	Protótipo do Condicionador . . . . .	15
6.4	Implementação em PCI . . . . .	15
6.5	Aplicação . . . . .	18
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>20</b>
7.1	Considerações finais . . . . .	20
7.2	Trabalhos futuros . . . . .	20
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>21</b>
	 <b>Apêndices</b>	 <b>22</b>
	<b>APÊNDICE A Esquema Elétrico do Condicionador de Sinal . . . . .</b>	<b>23</b>
	<b>APÊNDICE B Códigos Utilizados na Aquisição de Dados . . . . .</b>	<b>24</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A instrumentação industrial é uma área da engenharia elétrica que observa e quantifica fenômenos físicos de um processo. Os circuitos eletrônicos permitem que esses fenômenos sejam associados a grandezas elétricas cuja interpretação é possível de ser realizada por microprocessadores. Dessa forma, as informações do fenômeno físico podem ser observadas, analisadas e armazenadas. Esse conjunto de circuitos e processadores é chamado de Sistema de Aquisição de Dados (SAD).

A utilidade desses sistemas não se restringe apenas ao cenário industrial, um SAD pode ser utilizado como uma plataforma educacional, uma vez que ele permite a aplicação de conceitos fundamentais da engenharia elétrica em processos reais. O surgimento de plataformas educacionais como software de simulação, laboratórios experimentais, módulo de aprendizado iterativo e plataformas de *hardware* portátil, tornou possível novas metodologias pedagógicas, esclarecendo conceitos, reduzindo o nível de abstração e desenvolvendo habilidades práticas dos estudantes de engenharia elétrica (JERONYMO et al., 2014).

Estimular os estudantes a desenvolver recursos didáticos como circuitos eletrônicos para medição e atuação, algoritmos de controle e placas de aquisição de dados é uma metodologia que permite um maior desenvolvimento educacional dos alunos dentro das disciplinas e melhor entendimento dos conceitos trabalhados nestas. Tais recursos passam a ser ferramentas pedagógicas que podem e devem ser utilizadas por professores em tarefas práticas e atividades de laboratório (GALAN et al., 2017).

Considerando a importância dos recursos didáticos no processo de ensino e aprendizado, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para aplicações didáticas de controle digital nos cursos de engenharia da UTFPR, campus Toledo.

Este trabalho encontra-se organizado da seguinte forma. Capítulo 1 apresenta a contextualização do tema. Capítulo 2 define os objetivos deste projeto. O capítulo 3 discorre sobre as motivações para realização do trabalho. O capítulo 4 apresenta as referências teóricas e considerações que serviram como base para o seu desenvolvimento. O capítulo 5 descreve a metodologia e as ferramentas que foram utilizadas. O capítulo 6 discute os resultados deste trabalho. Por fim, o capítulo 7 aborda as conclusões finais.

## 2 OBJETIVOS

Projetar e desenvolver um sistema de aquisição de dados para processos didáticos de controle digital.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar conceitos pertinentes de um sistema de aquisição de dados (SAD), seus elementos e características fundamentais;
- Projetar os elementos do SAD no *software* de simulação *Multisim*;
- Simular o condicionador de sinal;
- Implementar o condicionador de sinal em uma placa de prototipagem;
- Testar o protótipo;
- Implementar o condicionador em uma placa de circuito impresso (PCI);
- Adaptar o condicionador à porta analógica de entrada do Arduino Nano V3;
- Utilizar o SAD desenvolvido para ler e armazenar dados.

### 3 JUSTIFICATIVA

Os dispositivos para aquisição de dados disponíveis no mercado exigem um alto investimento financeiro e apresentam uma faixa de operação limitada, o que exige a elaboração de circuitos eletrônicos que associem o sinal elétrico do transdutor à faixa de operação do SAD. Um dos SADs utilizados na instrumentação industrial é o módulo NI-9381 da National Instruments (NI) que possui oito canais, resolução de 12 *bits* e permite tensão de entrada entre 0 e 5 V (NATIONAL INSTRUMENTS, 2016). Este modelo exige um investimento de R\$1.900 mais taxas de logística e importação. Entre os dispositivos voltados para fins educacionais têm-se o kit M1k da Analog Devices (AD) que possui dois canais, resolução de 16 bits e permite tensão de entrada entre 0 e 5 V (ANALOG DEVICES, 2015). Este modelo exige um investimento de U\$ 40 mais taxas de logística e importação, também encontra-se disponível em alguns *sites* de vendas nacionais.

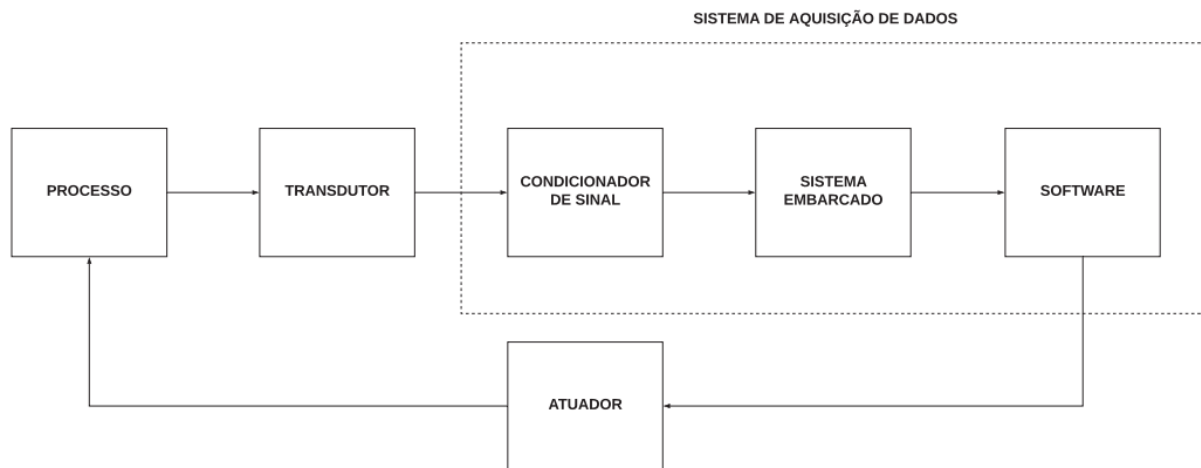
Logo, o estudo e projeto de um SAD desenvolvido dentro da Universidade torna-se viável, uma vez que os cursos de engenharia eletrônica e computação ofertados no campus, oferecem as condições de infraestrutura, tecnologia e material humano necessários para realização das pesquisas, produzindo assim um dispositivo com características técnicas que atendam às necessidades das atividades pedagógicas e também do mercado comercial e industrial, com um melhor custo benefício. O produto desenvolvido poderá ser utilizado como recurso didático nos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Toledo.

## 4 REVISÃO DA LITERATURA

Um sistema de aquisição de dados é um conjunto de elementos interligados com a finalidade de medir e quantificar sinais elétricos analógicos (BAPTISTA, 1990). Localizado entre um processo e um observador, este sistema permite que informações particulares e precisas de um fenômeno físico sejam analisadas pelo usuário, que pode ser um indivíduo ou mesmo um algoritmo (FRANÇA, 1997). Dessa forma, é possível analisar e armazenar informações pertinentes ao processo definido e também controlá-lo.

De acordo com a aplicação, os elementos de um sistema de aquisição de dados podem desempenhar diversas funções e se relacionar como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Representação do controle de um processo em malha fechada com seus principais blocos funcionais



Fonte: Adaptado da página

<http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/sistemas-de-supervisao-e-aquisicao-de-dados>

Os principais elementos responsáveis pela aquisição do sinal e fidelidade da informação serão discutidos nas seções 4.1 a 4.4.

### 4.1 TRANSDUTOR

O transdutor é o elemento que converte uma grandeza física que se deseja medir em uma grandeza elétrica. Nestes dispositivos, características elétricas variam em função da temperatura, umidade, fluxo de fluidos ou outros fenômenos físicos (FRANÇA, 1997). Geralmente é necessária uma fonte de energia elétrica para excitar transdutores, são exemplos: termistores, fotossensores e microfones. Entretanto, alguns destes elementos, como termopares, possuem característica de gerar uma diferença de potencial elétrico entre seus terminais (CAMARGO, 2000).

A grandeza elétrica convertida pelo transdutor é um sinal analógico. Deseja-se que a relação entre este sinal e a grandeza de medição seja linear, porém, a maioria dos transdutores não

obedece uma relação linear (CAMARGO, 2000). Porém, existem faixas de operações nas quais o dispositivo possui um comportamento linear ou que pode ser linearizado por um condicionador de sinal.

## 4.2 CONDICIONADOR DE SINAL

Devido ao comportamento não linear do transdutor, baixa amplitude do sinal analógico e presença de ruído, o sinal gerado precisa ser tratado antes de seu processamento (MARCHETTI; DUARTE, 2006; BAPTISTA, 1990). O condicionador de sinal pode fornecer energia elétrica aos transdutores que necessitam de excitação e também garantir uma isolamento entre o fenômeno físico que está sujeito a transitórios indesejados, bem como do SAD (FRANÇA, 1997). O condicionamento do sinal é realizado por meio de várias etapas, destacando-se como mais importantes: filtragem, isolamento, amplificação, atenuação e normalização. Estas serão definidas nas subseções 4.2.1 a 4.2.5.

### 4.2.1 FILTRAGEM

A etapa de filtragem consiste na utilização de filtros para atenuar sinais indesejados no início do condicionamento, desta forma, preserva-se a fidelidade da informação e evita-se que as perturbações sejam amplificadas na etapa seguinte. O projeto do filtro depende do conversor analógico/digital (A/D) utilizado, deve-se considerar a frequência de amostragem do conversor na determinação da frequência de corte  $f_c$  do filtro (CAMARGO, 2000).

### 4.2.2 ISOLAÇÃO

O sinal elétrico analógico gerado pelos transdutores está exposto a transitórios externos indesejados que podem danificar os demais componentes do SAD, por tanto é necessária uma isolamento elétrica entre estes (FRANÇA, 1997). Esta isolamento pode ser feita através de acoplamento magnético, ou acoplamento óptico.

### 4.2.3 AMPLIFICAÇÃO

Uma vez que perturbações, ruídos, interferências externas e sinais indesejados foram removidos ou atenuados pela filtragem, o sinal elétrico analógico referente à grandeza de medição pode ser amplificado, aumentando a razão sinal ruído, do inglês *Signal-to-Noise Ratio* (SNR). Quando o SAD utiliza conversão analógica/digital, a amplificação é um recurso necessário para que os níveis de tensão do sinal analógico permitam que a conversão proporcione uma resolução adequada. Se a excitação do transdutor ocorre pela rede elétrica, o sinal analógico precisa ser atenuado para se enquadrar nos níveis de tensão dos conversores (FRANÇA, 1997).

É comum utilização de amplificadores de instrumentação como recurso para esta etapa, porém, estes possuem um custo elevado comparado a circuitos integrados (CIs) compostos por amplificadores operacionais que também podem realizar a função de amplificação, tal como:



TL084, LM324 e MC33079, que se tornam uma ótima opção em aplicações que não exigem altos níveis de rejeição de modo comum. Ainda nesta etapa, é possível inserir um incremento ou decremento de tensão (*offset*) ao sinal analógico. Os ajustes do ganho e do *offset* são fatores que possibilitam que o condicionador de sinal seja utilizado com diversos transdutores, característica que permite que o condicionador possa ser aplicado em diversos tipos de processos. Na literatura, encontra-se a denominação de *span* para o ajuste do ganho e *zero* para o ajuste do *offset*. Através desses ajustes é possível deslocar o sinal como um todo para um patamar de interesse, preservando as suas características. Depois de amplificado e deslocado o sinal analógico  $y(t)$  pode ser representado por,

$$y(t) = Ax(t) + I, \quad (1)$$

sendo  $x(t)$  o sinal analógico do transdutor,  $A$  o *span* e  $I$  o *zero*.

Se o incremento ocorre antes da amplificação do sinal, o sinal analógico poderá ser definido por

$$y(t) = A(x(t) + I). \quad (2)$$

#### 4.2.4 NORMALIZAÇÃO

A normalização relaciona à amplitude absoluta do sinal analógico a um sinal contínuo conhecido. Quando se utiliza conversores A/D, a menor amplitude do sinal analógico deve estar associada a 0 V, enquanto que, a maior deve estar associada ao limite de tensão do conversor. Dessa forma, o sinal é adequado à entrada do conversor e neste existirão apenas as faixas de interesse, proporcionando mais acurácia à aquisição de dados (FRANÇA, 1997).

#### 4.2.5 AMOSTRAGEM

Para digitalizar um sinal analógico, o conversor A/D extrai amostras deste sinal, o intervalo de tempo entre as amostras normalmente é constante e denominado período de amostragem  $T_s$ . Já o número de amostras extraídas em um intervalo de um segundo, é denominado de frequência de amostragem  $f_s$ .

Para que o sinal seja recuperado, este precisa ser amostrado com uma frequência no mínimo duas vezes maior que a frequência máxima  $f_m$  presente no sinal analógico,

$$f_s \geq 2f_m, \quad (3)$$

esta frequência é denominada de frequência de Nyquist  $f_n$  (HAYKIN; MOHER, 2008). Caso este critério não seja obedecido, ocorre a sobreposição espectral, fenômeno conhecido como efeito de *aliasing* e que inviabiliza a recuperação do sinal devido às distorções. Porém, ainda que a  $f_s$  seja inferior a duas vezes  $f_m$ , a inserção de um filtro passa-baixas que limite a frequência

do sinal amostrado à metade da taxa de amostragem, viabiliza a recuperação do sinal, este filtro é conhecido como filtro anti-*aliasing* (HIGUTI, 2003).

Por fim, na etapa de quantização o sinal é convertido em um sinal digital. Sua representação é definida por um número finito de bits  $n_b$ , o número de níveis de quantização  $n_q$  é dado por:

$$n_q = 2^{n_b}, \quad (4)$$

onde o  $n_q$  interfere diretamente na resolução do sinal e é limitado pelo número de bits do *hardware*.

### 4.3 SISTEMA EMBARCADO

Um sistema embarcado é um sistema microprocessado com funções específicas, contendo um computador dedicado exclusivamente para realização de tarefas pré estabelecidas. No SAD descrito na Figura 1, o sistema embarcado pode ser utilizado por englobar o conversor A/D, microcontrolador e outros dispositivos fundamentais para interpretação do sinal digital e controle do processo. Um exemplo de sistema embarcado com tais recursos é o Arduino Nano V3, que foi utilizado neste trabalho. Estes dispositivos possuem uma faixa de operação limitada e normalmente são sensíveis a níveis de tensão maiores que 5 V e correntes superiores a 20 mA. Portanto, as etapas de condicionamento também devem adequar o sinal a essas limitações, protegendo o *hardware* do sistema embarcado.

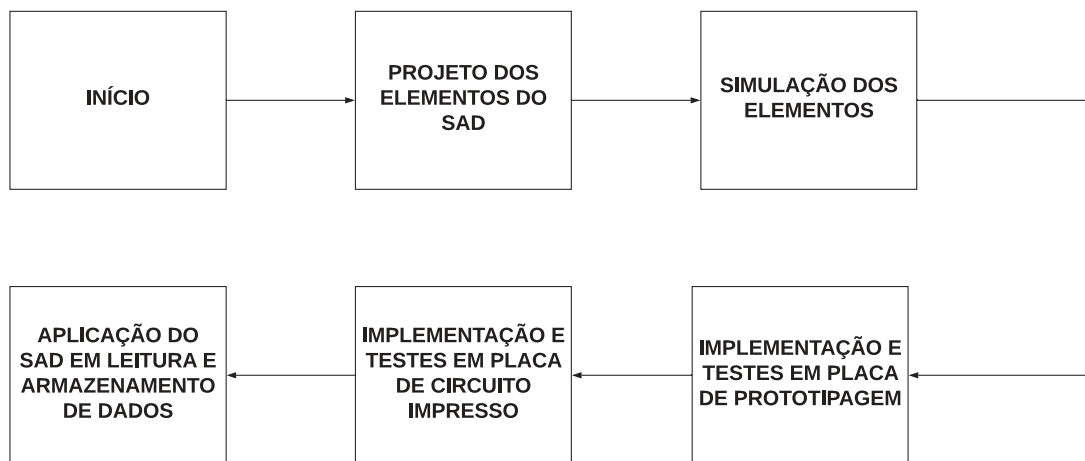
### 4.4 ATUADORES

Os atuadores são elementos que recebem um comando de um dispositivo e interferem em um processo de acordo com o comando recebido. Por exemplo, um relé de estado sólido pode receber o sinal de comando de um microcontrolador e acionar uma bomba para controlar o nível de água de um reservatório. Neste exemplo, o relé funciona como um atuador.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto e desenvolvimento do SAD segue a sequência descrita na Figura 2 .

Figura 2 – Sequência de atividades



Fonte: Autoria própria

### 5.1 ESPECIFICAÇÕES DO CONDICIONADOR

O condicionador foi analisado de forma fragmentada, seus elementos foram projetados individualmente, considerando suas funções e as delimitações esclarecidas neste capítulo. Optou-se por alimentação em  $-12$  e  $+12$  V, uma vez que é uma prática comum em aplicações de controle. Foram condicionados sinais de tensão com amplitude entre  $-10$  e  $10$  V, a saturação dos amplificadores utilizados no condicionador limita os sinais a este intervalo. Existem amplificadores com níveis de saturação próximos à alimentação, também conhecidos como *rail-to-rail*, porém, estes exigem um alto investimento, oferecendo um baixo custo benefício para este projeto, uma vez que o intervalo de  $-10$  a  $10$  V abrange a amplitude dos sinais gerados por transdutores em aplicações práticas de controle.

#### 5.1.1 FILTRAGEM

Para que as perturbações e sinais indesejados fossem atenuados ainda no início do condicionamento, considerou-se primeiro a etapa de filtragem. O elemento responsável por esta etapa é um filtro ativo passa-baixas, de segunda ordem. Para projeto do filtro, foi considerado o *sample time* do microcontrolador, a escolha da frequência de corte foi baseada nesta informação, sendo portanto  $10$  kHz.

### 5.1.2 ISOLAÇÃO

Esta etapa foi realizada utilizando-se um circuito *buffer*. Através do curto virtual, este circuito garante a isolação elétrica entre o sinal analógico oriundo do transdutor e o pino de entrada do microcontrolador, enquanto a fidelidade do sinal é preservada. Este circuito também permite a utilização de técnicas de *pull down*, fazendo com que a tensão na entrada do amplificador seja nula quando não houver tensão em sua entrada e também garantindo a proteção do sistema contra surtos de tensão uma vez que sua tensão de saída se limita a saturação do amplificador operacional utilizado. O *buffer* também proporciona uma alta impedância de entrada para o sistema, fator decisivo para a qualidade da etapa de amplificação. Neste circuito, a tensão de saída pode ser considerada igual à tensão aplicada na entrada.

### 5.1.3 AMPLIFICAÇÃO

#### 5.1.3.1 AJUSTE DE GANHO

Para realizar o ajuste de ganho (*span*), optou-se por utilizar o circuito amplificador inversor. Desta forma, variando a resistência de um potenciômetro, o ganho pode ser ajustado para amplificar ou atenuar o sinal. Porém, é necessário utilizar mais um circuito amplificador inversor, desta vez com ganho unitário, para corrigir a inversão de fase provocada anteriormente.

#### 5.1.3.2 AJUSTE DE *OFFSET*

Para o ajuste de *offset* (*zero*), foi implementado um circuito amplificador somador, em que através de um divisor de tensão, a tensão de entrada varia de acordo com a resistência do potenciômetro. Nesta etapa, a tensão somada é contínua e recebe um ganho unitário.

Na etapa de amplificação o sinal analógico receberá o *span* e o *zero*, estes devem ser ajustados pelo usuário de forma que garanta que o sinal passará a ter amplitude mínima de -10 V e máxima de 10 V. Esta etapa deve agregar ao sinal analógico um comportamento linear nesta faixa de amplitude. Após esses ajustes o sinal analógico poderá ser representado pela Equação (2).

### 5.1.4 NORMALIZAÇÃO

A etapa de normalização foi projetada para provocar um deslocamento de nível, utilizando um circuito amplificador inversor e um somador, relacionando os valores de 0 V e 5 V, às amplitudes mínima e máxima, respectivamente. Estes valores foram determinados baseados na tensão máxima suportada pelo dispositivo Arduino Nano V3.

### 5.1.5 ISOLAÇÃO

Por fim, a etapa de normalização é seguida por mais um circuito *buffer*, que devido a sua baixa impedância de saída é utilizado para fins de casamento de impedância, este circuito também

limita a corrente de saída do condicionador a 20 mA, corrente de saturação do amplificador operacional, protegendo o arduino que suporta até 40 mA.

Dessa forma, os elementos do condicionador de sinal podem ser representadas pela Figura 3.

Figura 3 – Condicionador



Fonte: Autoria própria

## 5.2 SIMULAÇÃO DOS ELEMENTOS

As simulações foram realizadas no *Multisim*, *software* próprio para simulações de circuitos elétricos e eletrônicos.

## 5.3 IMPLEMENTAÇÃO E TESTES EM PLACA DE PROTOTIPAGEM

Depois de projetado e simulado, foi implementado um protótipo do condicionador em uma placa de prototipagem, a implementação e os testes do protótipo foram realizados nos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Toledo.

## 5.4 IMPLEMENTAÇÃO E TESTES EM PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

Uma vez que o protótipo foi implementado e testado, o condicionador de sinal foi projetado no *software Easy EDA* e implementado em uma placa de circuito impresso.

## 5.5 APLICAÇÃO

Por fim, o condicionador foi adaptado a uma porta analógica do sistema embarcado e o SAD foi utilizado para ler e armazenar um sinal elétrico analógico.

## 5.6 RECURSOS

Os recursos utilizados para o desenvolvimento do SAD, bem como o investimento necessário estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Lista de materiais

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço total</b>
Resistor 10 k $\Omega$	60	R\$ 0,30	R\$ 18,00
<i>Jumper</i> M x M	60	R\$ 0,60	R\$ 36,00
<i>Jumper</i> F x F	30	R\$ 0,60	R\$ 18,00
<i>Jumper</i> F x M	30	R\$ 0,75	R\$ 22,50
Soquete para CI 14 pinos	5	R\$ 1,00	R\$ 5,00
Soquete 30 pinos	5	R\$ 2,50	R\$ 12,50
Papel fotográfico	5	R\$ 1,5	R\$ 7,50
Percloroeto de ferro 1 kg	1	R\$ 42,00	R\$ 42,00
Capacitor cerâmico 1,6 nF	16	R\$ 0,60	R\$ 9,60
TL084	12	R\$ 2,00	R\$ 24,00
Potenciômetro 100 k $\Omega$	4	R\$ 4,00	R\$ 16,00
Potenciômetro 10 k $\Omega$	4	R\$ 4,00	R\$ 16,00
Protoboard 1360 pinos	1	R\$ 125,00	R\$ 125,00
Arduino nano V3	4	R\$ 44,00	R\$ 176,00
Placa ilhada 15x15	1	R\$ 19,50	R\$ 19,50
Fluxo para solda	1	R\$ 24,00	R\$ 24,00
Placa de fenolite 10x15	2	R\$ 8,00	R\$ 16,00
Ferro de solda 140 W	1	R\$ 36,00	R\$ 36,00
Fio de estanho p/ solda 500 g	2	R\$ 35,00	R\$ 70,00
Frete	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
Alicate de bico	1	R\$ 24,00	R\$ 24,00
Alicate de corte	1	R\$ 23,00	R\$ 23,00
<b>Total Geral</b>			<b>R\$ 765,6</b>

## 6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 6.1 PROJETO DOS ELEMENTOS DO CONDICIONADOR

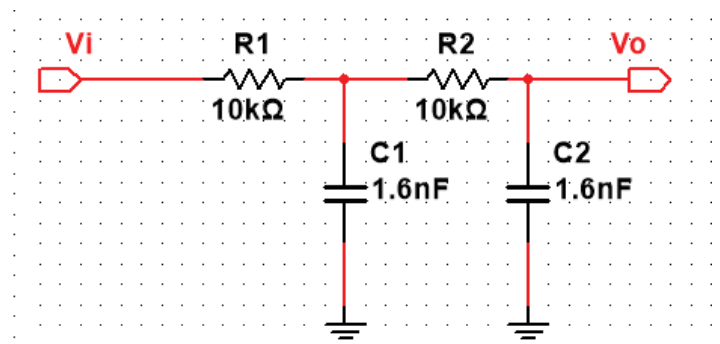
#### 6.1.1 FILTRAGEM

O esquema elétrico do filtro projetado pode ser visualizado na Figura 4. A função de transferência do filtro é descrita por,

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(RCs + 1)^2}, \quad (5)$$

onde  $V_o$  é a tensão de saída do circuito,  $V_i$  a tensão de entrada,  $R$  a resistência dos resistores,  $C$  a capacitância dos capacitores e  $s$  a frequência angular.

Figura 4 – Esquema elétrico do filtro passa-baixas



Fonte: Autoria própria

#### 6.1.2 ISOLAÇÃO

O circuito *buffer* responsável pela isolação e pelo casamento de impedâncias é representado na Figura 5.

#### 6.1.3 AMPLIFICAÇÃO

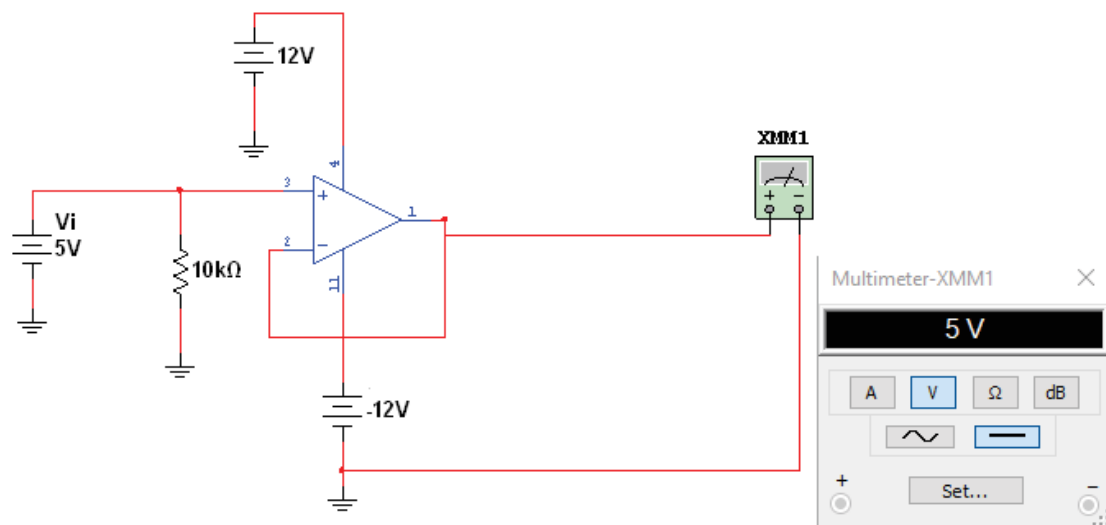
##### 6.1.3.1 AJUSTE DE GANHO

O esquema elétrico do circuito responsável pelo span é apresentado na Figura 6. O span pode ser descrito pela seguinte equação,

$$A = \frac{81000}{(R_p)}, \quad (6)$$

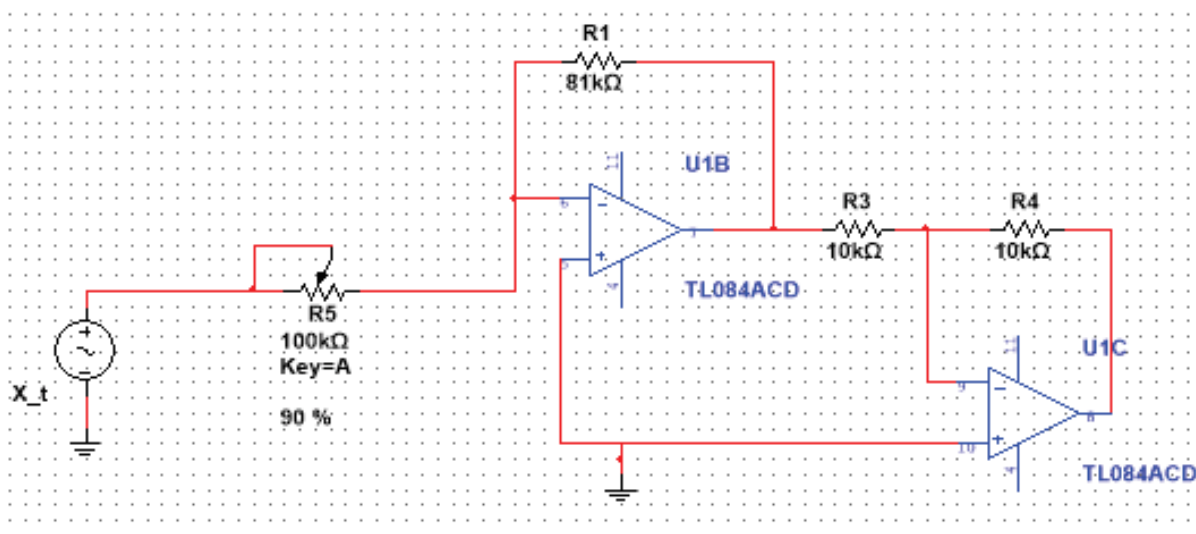
onde  $R_p$  é a resistência do potenciômetro e  $81000 \Omega$  é o valor da resistência de realimentação.

Figura 5 – Circuito *buffer*



Fonte: Autoria própria

Figura 6 – Esquema elétrico do *span*



Fonte: Autoria própria

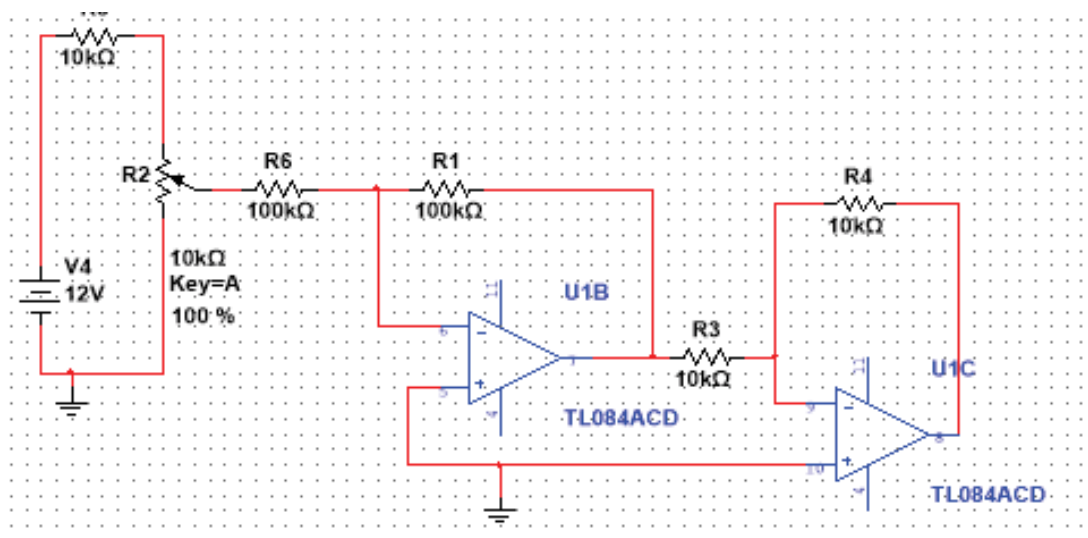
### 6.1.3.2 AJUSTE DE *OFFSET*

A Figura 7 representa o esquema elétrico do circuito responsável pelo *zero*. A Equação (7) expressa a relação entre a resistência do potenciômetro e o *zero*.

$$I = 12 \frac{10K}{(R_p)} \quad (7)$$



Figura 7 – Esquema elétrico do zero

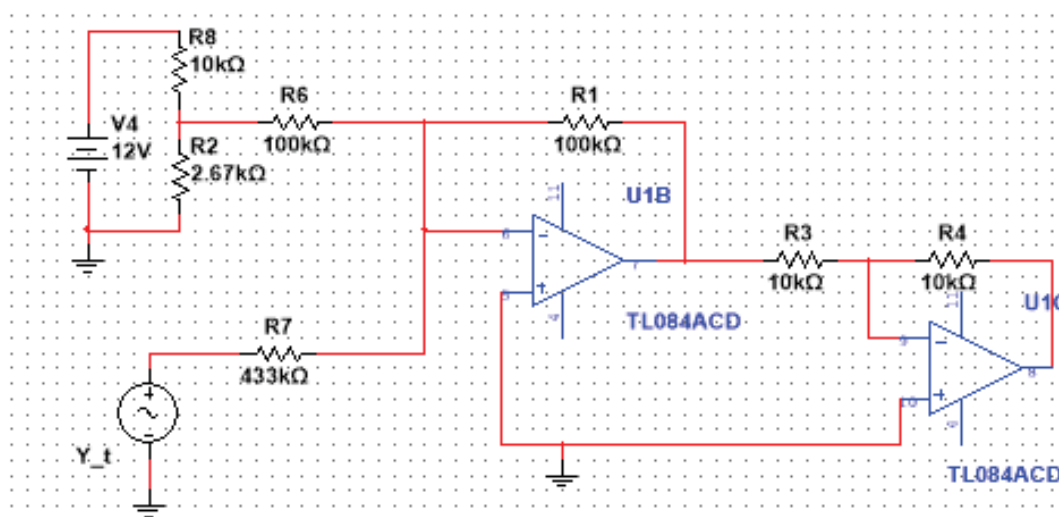


Fonte: Autoria própria

### 6.1.4 NORMALIZAÇÃO

O esquema elétrico do circuito responsável pela normalização é representado pela Figura 8. Este circuito realiza um deslocamento de nível no sinal que, por sua vez, passa a ter amplitude mínima de 0 V e máxima de 5 V.

Figura 8 – Esquema elétrico do normalizador



Fonte: Autoria própria

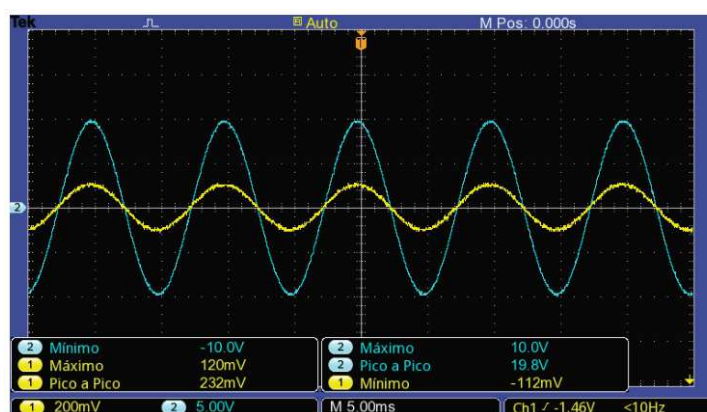
## 6.2 CONDICIONADOR SIMULADO

O condicionador simulado possui frequência de corte de 10 kHz e condicionou sinais com magnitude de até 10 V. O esquema elétrico de seus elementos são os já apresentados na seção anterior.

## 6.3 PROTÓTIPO DO CONDICIONADOR

Foram condicionados sinais elétricos analógicos de magnitude superior a 0,12 V e inferior a 10 V, como mostra a Figura 9, onde o sinal amarelo representa um sinal senoidal de baixa frequência gerado por um gerador de sinais e o sinal azul representa o sinal analógico após as etapas de *span* e *zero*. Sinais de amplitude fora do intervalo citado saturam e têm sua fidelidade comprometida. A frequência de corte do protótipo foi de 7 kHz.

Figura 9 – Formas de onda de menor amplitude condicionada no protótipo



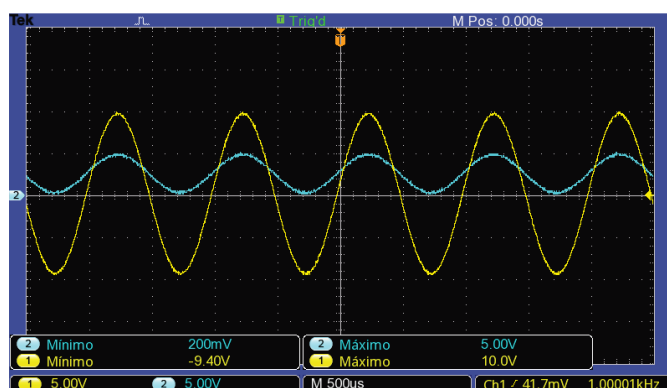
Fonte: Autoria própria

A Figura 10 ilustra o comportamento do circuito normalizador, o sinal amarelo representa o sinal analógico após o *span* e *zero* enquanto o sinal azul representa o sinal analógico após a normalização.

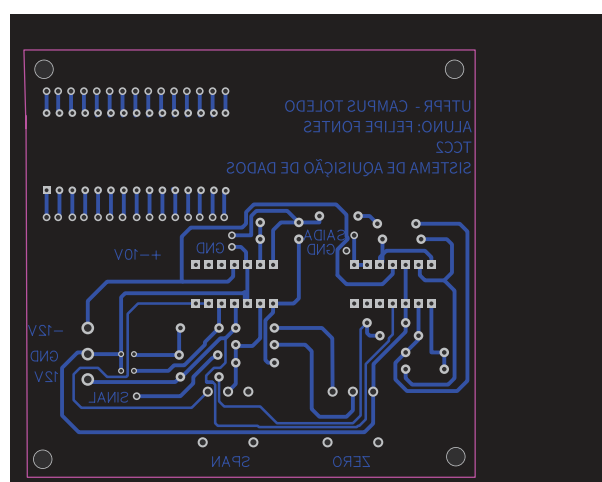
## 6.4 IMPLEMENTAÇÃO EM PCI

Uma vez que o protótipo foi testado e ajustado, o condicionador foi então implementado em uma PCI, a Figura 11 exibe o *layout* da placa e a Figura 12 mostra a placa final. Foram condicionados sinais elétricos analógicos de magnitude superior a 0,06 V e inferior a 10 V, como mostra a Figura 13, onde o sinal amarelo representa um sinal senoidal de baixa frequência gerado por um gerador de sinais e o sinal azul representa o sinal analógico após o *span* e *zero*. Sinais de amplitude fora do intervalo citado saturam e têm sua fidelidade comprometida. A frequência de corte na placa de circuito impresso foi de 8 kHz.

A diferença da frequência de corte no condicionador simulado, entre o protótipo e o condicionador implementado em uma PCI ocorreu devido a diferença dos valores das capacitân-

Figura 10 – Formas de onda do sinal antes e após a normalização em *proto-board*

Fonte: Autoria própria

Figura 11 – *Layout* da placa de circuito impresso

Fonte: Autoria própria

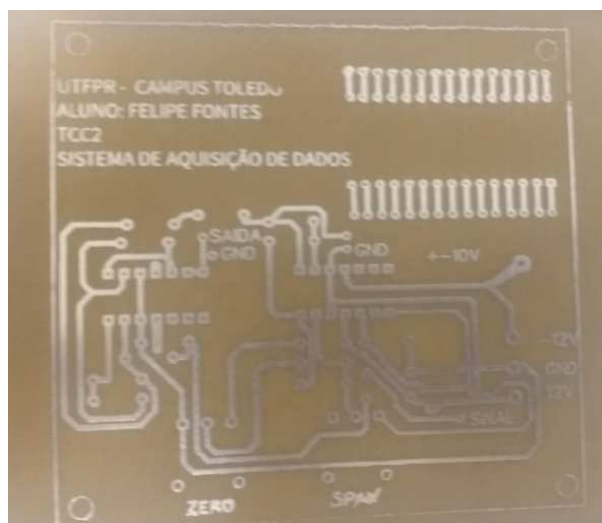
cias. Ainda que os valores nominais fossem os mesmos, os capacitores apresentaram diferença significativa entre o valor nominal e o real da capacitância.

A Figura 14 ilustra o comportamento do circuito normalizador, o sinal amarelo representa o sinal analógico após o *span* e *zero* enquanto o sinal azul representa o sinal analógico após a normalização.

Também foi adicionada a PCI soquetes para encaixe do sistema embarcado, o condicionador de sinal pode ser conectado à porta analógica através de um *jumper*. A Figura 15 exhibe o sistema de aquisição de dados desenvolvido.

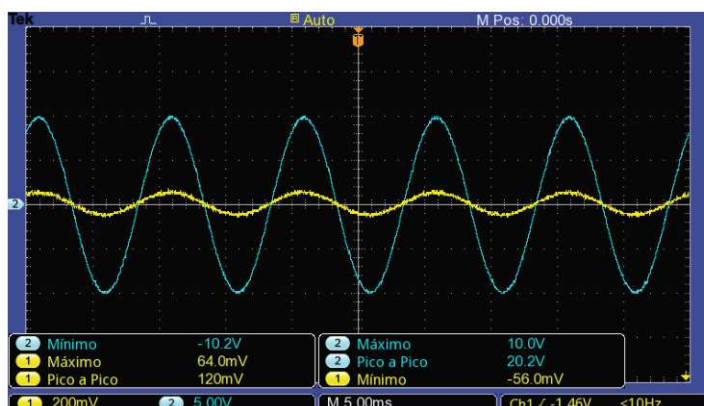
O SAD desenvolvido exigiu um investimento de R\$ 75,70 e possui um canal com resolução de 10 *bits* que faz a leitura de sinais analógicos com magnitude entre 0,06 e 10 V. Os amplificadores operacionais do condicionador de sinal, responsáveis pela isolação, *span* e *zero* foram acoplados em soquetes. Dessa forma, caso o condicionador de sinal seja danificado por má utilização do usuário e ou alimentação indevida, o usuário pode substituir os CIs e o condicionador funcionará novamente. Essa característica também permite que o usuário compare

Figura 12 – Placa de circuito impresso após corrosão



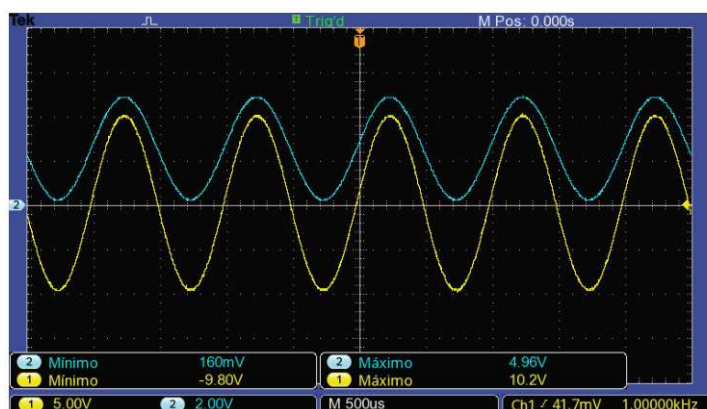
Fonte: Autoria própria

Figura 13 – Forma de onda de menor amplitude condicionada na placa de circuito impresso



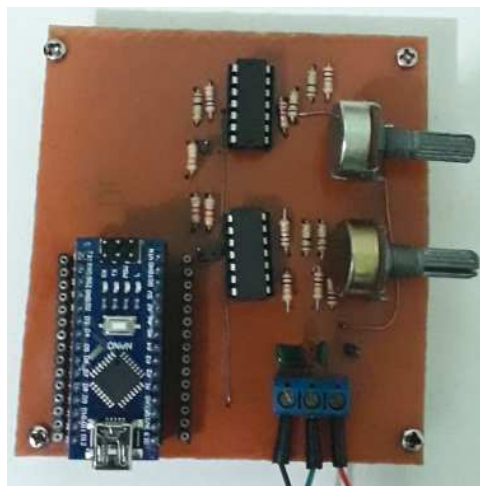
Fonte: Autoria própria

Figura 14 – Formas de onda do sinal antes e após a normalização em placa de circuito impresso



Fonte: Autoria própria

Figura 15 – Sistema de aquisição de dados



Fonte: Autoria própria

o desempenho real de amplificadores operacionais em sua aplicação.

O SAD é composto pelos seguintes componentes:

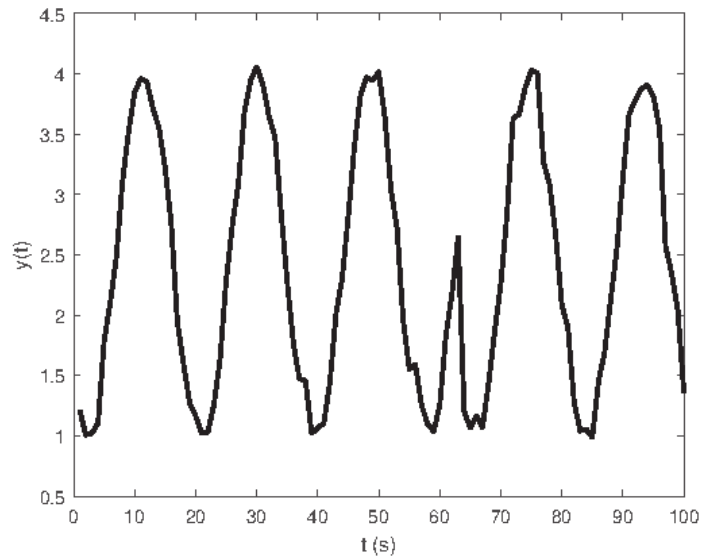
- 1 placa de fenolite;
- 2 CIs TL084;
- 1 Potenciômetro de 100 k $\Omega$ ;
- 1 Potenciômetro de 10 k $\Omega$ ;
- 2 Capacitores de poliéster de 1,6 nF;
- 1 Arduino nano V3;
- 6 Soquetes para os CIs, arduino, e portas do arduino;
- 6 Resistores de 10 k $\Omega$ ;
- 5 Resistores de 100 k $\Omega$ ;
- 2 Resistores de 81 k $\Omega$ ;
- 1 Resistor de 330 k $\Omega$ ;
- 1 Resistor de 2,7 k $\Omega$ ;

## 6.5 APLICAÇÃO

O SAD da Figura 15 foi utilizado para fazer a leitura de um sinal analógico elétrico. Para fins comparativos a leitura também foi realizada em um osciloscópio. A Figura 16 representa a forma de onda do sinal lido pelo SAD enquanto a Figura 17 representa a forma de onda do sinal lido pelo osciloscópio. A leitura do SAD apresentou valores de tensão máximo, mínimo e de pico a pico, próximos aos apresentados pelo osciloscópio. Porém, pode-se observar que a leitura do SAD apresenta deformações nos pontos de máximo e mínimo, essas deformações ocorrem por conta do efeito *aliasing*, presente no sinal amostrado.

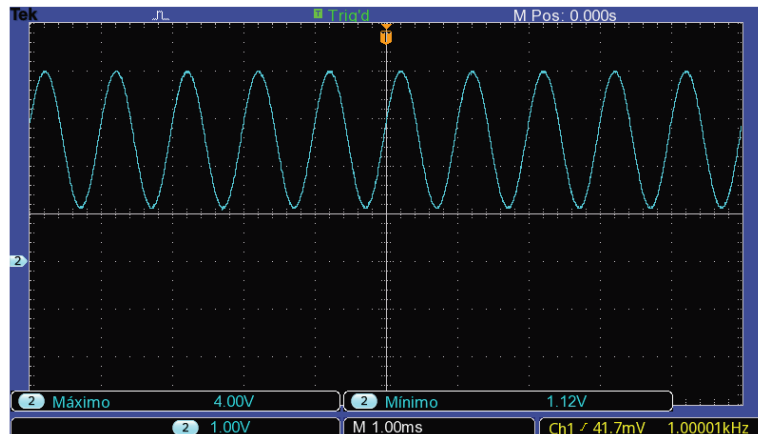
O sinal digitalizado possui uma resolução de 10 bits, logo, a razão sinal ruído (SNR) é

Figura 16 – Sinal lido pelo SAD



Fonte: Autoria própria

Figura 17 – Sinal lido pelo osciloscópio



Fonte: Autoria própria

dada por,

$$SNR_{dB} = 20 \log 2^{10} = 60,2dB. \quad (8)$$

Uma vez que cada ordem do filtro, acrescenta uma queda de 3 dB em seu ganho, seria necessário um filtro de ordem 19 para atenuar as componentes de frequência acima da frequência de corte e eliminar a sobreposição espectral. Implementar um filtro analógico de ordem elevada, é algo complexo e inviável, uma alternativa para solucionar este problema seria elevar a taxa de amostragem, reduzindo a ordem do filtro e tornando-o realizável (FERNANDES, 2011).

## 7 CONCLUSÃO

### 7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O SAD ainda mostra-se como uma grande ferramenta pedagógica que permite o emprego de técnicas de controle, a análise de desempenho real de amplificadores operacionais e levanta discussões a respeito de soluções para reduzir a sobreposição espectral.

O condicionador de sinais desenvolvido amplia a faixa de operação do sistema embarcado utilizado, compondo um sistema de aquisição de dados de baixo custo, capaz de observar e armazenar dados oriundos de diversos tipos de transdutores.

### 7.2 TRABALHOS FUTUROS

Poderiam ser projetados e desenvolvidos diferentes condicionadores de sinal para cada porta analógica do sistema embarcado, dessa forma, seria possível relacionar a resposta de diferentes filtros com a qualidade do sinal amostrado, comparar as faixas de operação de condicionadores que utilizam diversas configurações de amplificadores operacionais ou mesmo comparar o desempenho de amplificadores operacionais comuns com o de amplificadores de instrumentação.

## REFERÊNCIAS

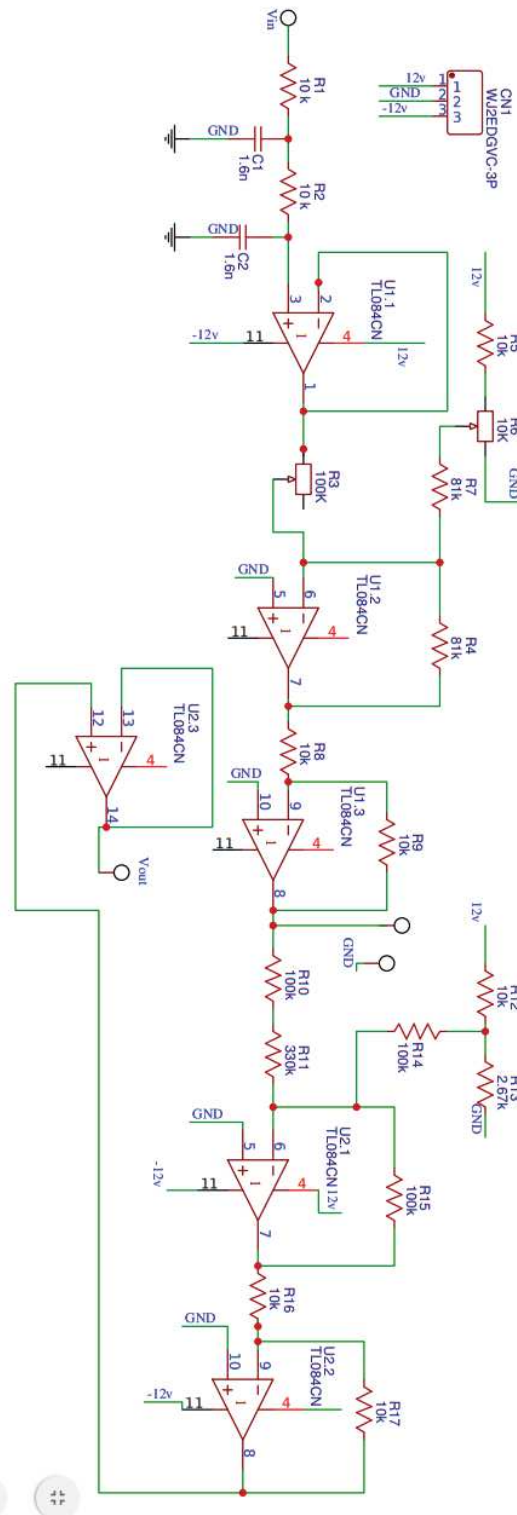
- ANALOG DEVICES. **Active Learning Enabled by the ADALM1000 Active Learning Module**. [S.l.], 2015. Citado na página 3.
- BAPTISTA, J. P. da C. **Sistema de Aquisição de Dados**. 1990. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores – Perfil de Informática Industrial) — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1990. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 5.
- CAMARGO, E. A. **Um Sistema de Aquisição de Dados Usando Telemétrica Óptica Aplicado a Ensaios Funcionais de Componentes Aeroespaciais**. 2000. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Dispositivos e Sistemas Eletrônicos) — Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José Campos, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 5.
- FERNANDES, P. G. G. **Filtro Anti-Aliasing para Sistemas de Aquisição Sincronizada Implementado em FPGA**. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Citado na página 19.
- FRANÇA, J. A. de. **Sistema de Aquisição de Dados Baseados em Microcontrolador**. 1997. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica – Processamento da Informação) — Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1997. Citado 3 vezes nas páginas 4, 5 e 6.
- GALAN, D. et al. Web experimentation on virtual and remote laboratories. **Online Engineering and Internet of Things**. *Springer*, v. 22, p. 205–219, 2017. Citado na página 1.
- HAYKIN, S.; MOHER, M. **Introdução aos Sistemas de Comunicação**. Porto Alegre: Bookman, 2008. Citado na página 6.
- HIGUTI, R. T. **Processamento Digital de Sinais-Amostragem e Reconstrução de Sinais**. 2003. Disponível em: <[http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/ele1095\\_1\\_introducao.pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/ele1095_1_introducao.pdf)>. Acesso em: 5 de maio de 2018. Citado na página 7.
- JERONYMO, D. et al. An approach for improving student performance in a feedback systems course for process control education. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 47, p. 10574–10579, 2014. Citado na página 1.
- MARCHETTI, P. H.; DUARTE, M. Instrumentação em eletromiografia. **DataGramZero - Revista da Ciência da Informação**, 2006. Citado na página 5.
- NATIONAL INSTRUMENTS. **Datasheet NI 9381**. [S.l.], 2016. Citado na página 3.



## Apêndices

## APÊNDICE A – ESQUEMA ELÉTRICO DO CONDICIONADOR DE SINAL

Figura 18 – Esquema elétrico do condicionador de sinal



Fonte: Autoria própria

## APÊNDICE B – CÓDIGOS UTILIZADOS NA AQUISIÇÃO DE DADOS

Figura 19 – Código para envio de dados

```

1  function dac_send_data(pin, value)
2  %dac_send_data Sends data to a specific pin in AARC
3  %   Input pin - a value between 1 and 6
4  %   Input data - a value between 0 and 5
5  %
6  % TODO: check inputs? check if handle exists?
7
8  global GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE
9
10 % Scale output data to range 0 - 255 (1 byte) for arduino
11 data = round(value*(255/5));
12
13 % Sends CMD_WRITE_DAC command, desired pin and data value
14 fwrite(GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE, [0 pin data], 'uint8');
15
16 end
17
18

```

Fonte: Aatoria própria

Figura 20 – Código para recebimento de dados

```

1  function [ data ] = dac_receive_data(pin)
2  %dac_receive_data Receives data from a specific pin in AARC
3  %   Input pin - a value between 1 and 6
4  %
5  % TODO: check inputs? check if handle exists?
6
7  global GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE
8
9  % Sends CMD_READ_ADC command and the desired pin
10 fwrite(GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE, [1 pin], 'uint8');
11
12 % Wait for and read response
13 value = fread(GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE, 1, 'uint16');
14
15 % Scale Arduino 10 bit input to range 0 - 5
16 data = value*(5/1023);
17
18 end

```

Fonte: Aatoria própria

Figura 21 – Código para aquisição de dados em tempo real

```
1 clear all;
2 close all;
3 clc;
4
5 T = 1:100;
6 Y = zeros(1,100);
7 figure;
8 h = plot(T,Y,'LineWidth',1.5, 'Color', 'b');
9 axis([1 100 0 5]);
10 set(gca, 'XTickLabelMode', 'manual', 'XTickLabel', []);
11 set(gcf, 'color', 'w');
12
13 dac_initialize();
14
15 while(1)
16     Y(1:end-1) = Y(2:end);
17     Y(end) = dac_receive_data(1);
18     %disp(Y(end))
19
20     set(h, 'YData', Y);
21     drawnow;
22     %pause(0.1);
23 end
24
25 dac_finalize();
```

Fonte: Autoria própria

Figura 22 – Código para iniciar a aquisição de dados

```
1 function [version] = dac_initialize()
2 %dac_initialize Initializes the AARC data acquisition card.
3 % Prepares the card so dac_send_data and dac_receive_data can be used.
4 % Returns the card's version as text.
5
6 global GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE
7
8 % Create the serial port object with SERIAL_9N1 standard and Baud 9600
9 GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE = serial('COM3', 'BaudRate', 9600, 'DataBits', 8,
10 'StopBits', 1, 'Parity', 'none');
11
12 % Connect the serial device
13 fopen(GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE);
14
15 % Receive version code from card
16 version = fscanf(GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE);
17
18 % Check version code
19 if isempty(version) || strcmp(version, 'AARC', 4) == 0
20     % Clean up and output error
21     dac_finalize();
22     error('DAC ERROR: Could not recognize serial device as AARC card!');
23 else
24     disp('DAC Initialized successfully');
25 end
26
27 end
```

Fonte: Autoria própria

Figura 23 – Código para finalizar a aquisição de dados

```
1 function dac_finalize()
2 %dac_finalize Closes AARC connection and cleans up
3 % Must always be called after dac_initialize
4
5 global GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE
6
7 if(isvalid(GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE))
8     fclose(GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE);
9     delete(GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE);
10    clear GLOBAL_DAC_SERIAL_HANDLE;
11 end
12
13 end
```

Fonte: Autoria própria

Figura 24 – Código para testar o arduino

```
1 clear all;
2 clc;
3
4 tic
5 s = serial('COM3', 'BaudRate', 9600, 'DataBits', 8, 'StopBits',
6 | 1, 'Parity', 'none');
7 fopen(s);
8
9 %disp('serial aberta')
10
11 %pause(5);
12
13 %disp('lendo placa')
14 %t = fscanf(s)
15 %toc
16
17 fwrite(s, [1 1], 'uint8')
18 p = instrfindall
19 A = fread(s, 1, 'uint16')
20
21 fclose(s)
22 delete(s)
23 clear s
```

Fonte: Autoria própria

Figura 25 – Código do *firmware* parte 1

```
1  const uint8_t CMD_WRITE_DAC = 0;
2  const uint8_t CMD_READ_ADC = 1;
3  //const byte  CMD_READ_ALL_ADC = 2;
4
5  const uint8_t DAC_COUNT = 6;
6  const uint8_t ADC_COUNT = 6;
7
8  uint8_t dacPins[] = {3, 5, 6, 9, 10, 11}; // output pins
9  uint8_t adcPins[] = {23, 24, 25, 26, 27, 28}; // input pins
10 //unsigned int inValuesBuffer[] = {0, 0, 0, 0, 0, 0};
11 // format: {VALUE1, VALUE2, ... }
12
13 uint8_t Lpin = 13;
14
15 uint8_t inPin = 0;
16 uint8_t inValue = 0;
17 uint16_t adcValue = 0;
18
19 uint16_t i = 0;
20
21 void setup()
22 {
23     // Set Lpin as an output
24     pinMode(Lpin, OUTPUT);
25
26     // Blink 5 times to identify this program
27     for(i = 0; i < 5; i++)
28     {
29         digitalWrite(Lpin, HIGH);
30         delay(100);
31         digitalWrite(Lpin, LOW);
32         delay(100);
33     }
```

Fonte: Autoria própria

Figura 26 – Código do *firmware* parte 2

```
34
35 // Open serial communications
36 Serial.begin(9600, SERIAL_8N1);
37 // Wait for serial port to connect.
38 //Needed for native USB port only (TODO: is this really necessary?)
39 while (!Serial) ;
40 Serial.println("AARC1");
41 }
42
43 inline void waitSerialAvailable()
44 {
45     while(!Serial.available()) ;
46 }
47
48 void loop()
49 {
50     // Wait for command
51     if(Serial.available())
52     {
53         // Read command
54         inValue = Serial.read();
55
56         switch(inValue)
57         {
58             case CMD_WRITE_DAC:
59             {
60                 // Receive a pin value (1-DAC_COUNT) and an output value (0-255)
61                 waitSerialAvailable();
62                 inPin = Serial.read();
63                 waitSerialAvailable();
64                 inValue = Serial.read();
65             }
```

Fonte: Autoria própria



Figura 27 – Código do *firmware* parte 3

```
65
66 // Output the desired pin with the PWM cycle
67 if(inPin >= 1 && inPin <= DAC_COUNT)
68     analogWrite(dacPins[inPin - 1], inValue);
69 }break;
70 case CMD_READ_ADC:
71 {
72     // Receive a pin value (1-ADC_COUNT)
73     waitSerialAvailable();
74     inPin = Serial.read();
75
76     if(inPin >= 1 && inPin <= ADC_COUNT)
77     {
78         // Read the desired analog pin
79         adcValue = analogRead(adcPins[inPin - 1]);
80
81         // Send the analog value (for ATME1328P this is a
82         //16 bit value in little endian)
83         Serial.write((uint8_t*)&adcValue, sizeof(adcValue));
84     }
85 }break;
86 // case CMD_READ_ALL_ADC:
87 // {
88 //     // Read all analog pins
89 //     for(i = 0; i < ADC_COUNT; i++)
90 //         inValuesBuffer[i] = analogRead(adcPins[i]);
91 //
92 //     // Send the analog values
93 //     Serial.write(inValuesBuffer, sizeof(inValuesBuffer));
94 // }break;
95 }
96 }
97 }
```

Fonte: Autoria própria